Кольраушъ
Физика

Проф. КОЛЬРАУШЪ

КРАТКОЕ РУКОВОДСТВО КЪ ПРАКТИЧЕСКИМЪ ЗАНЯТІЯМЪ ПО ФИЗИКѢ

Перев. подъ ред. проф. Н. П. КАСТЕРИНА



ОДЕССА
1914

БЕРЕГИТЕ КНИГИ!

Не перегибайте книгу во время чтения.

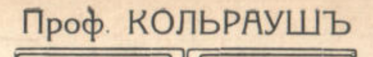
Не загибайте углов.

Не делайте надписей на книге.

Не смачивайте пальцев слюною, перелистывая книгу.

Завертывайте книгу в бумагу.





КРАТКОЕ РУКОВОДСТВО

КЪ ПРАКТИЧЕСКИМЪ ЗАНЯТІЯМЪ

ПО ФИЗИКѢ

ПЕРЕВОДЪ СЪ НѢМЕЦКАГО

прив.-доц. Д. Д. ХМЫРОВА и лабор. Е. А. КИРИЛЛОВА

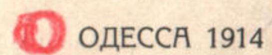
ПОДЪ РЕДАКЦІЕЙ

проф. Н. П. КАСТЕРИНА

Съ 125 рисунками въ текстѣ







ОДЕССА.
Типографія „Техникъ“, Екатерининская, 58
1913.

ОГЛАВЛЕНІЕ

Стр.

Электричество

Таблицы

Въ настоящей книгѣ метрическія мѣры обозначены сокращенно:

м = метръ, *г* = граммъ,

см = сантиметръ, *мг* = миллиграммъ,

мм = миллиметръ, *кг* = килограммъ.

км = километръ,

Квадратныя мѣры отмѣчены показателемъ 2, кубическія 3, напримѣръ:

квадратный миллиметръ = $мм^2$,

кубическій сантиметръ = $см^3$.



ИЗЪ ПРЕДИСЛОВІЯ АВТОРА

Настоящая книга предназначена для начинающихъ и при томъ въ особенности для тѣхъ, кто предполагаетъ въ области практической физики ограничиться первоначальными работами. Вотъ почему изъ болѣе пространнаго содержанія моего большого учебника выпущено, напримѣръ, изложеніе метода наименьшихъ квадратовъ. Указанія по физической техникѣ даются лишь кое-гдѣ, въ тѣхъ только мѣстахъ, гдѣ они непосредственно примѣняются практикантомъ. Очеркъ такъ-называемой „абсолютной" или CGS-системы мѣръ представленъ въ сокращенномъ видѣ во введеніи. Изъ отдѣльныхъ измѣрительныхъ методовъ опущены тѣ, которые оказываются непригодными для обычнаго практикума какъ вслѣдствіе теоретическихъ и практическихъ трудностей, такъ и вслѣдствіе сложности необходимыхъ приборовъ.

Въ особенности въ отдѣлѣ практическаго электричества сокращено или выпущено многое такое, что вышло изъ современнаго обихода благодаря новымъ средствамъ. Благодаря тому, что техника потребовала скорыхъ измѣрительныхъ методовъ, въ этой области произошелъ замѣтный переходъ къ болѣе удобнымъ измѣрительнымъ инструментамъ, въ особенности такимъ, которые даютъ измѣряемыя величины прямо въ абсолютной мѣрѣ, и со временемъ эти инструменты должны получить и получатъ самое широкое распространеніе при ученическихъ упражненіяхъ.

Я думаю однако, что и въ этой области полезно примѣнять въ практикумѣ не только вполнѣ законченные въ техническомъ отношеніи инструменты, но и такіе, которые вынуждаютъ работающаго выяснить себѣ связь измѣряемыхъ величинъ съ идеями, лежащими въ ихъ основѣ. Не упустить этого, — по моему мнѣнію, одна изъ самыхъ важныхъ задачъ. Между человѣкомъ, желающимъ научиться научно мыслить — а вѣдь это и есть основная цѣль практикума для большинства учениковъ — и тѣмъ, кому достаточно настолько овладѣть извѣстной областью, чтобы быть въ состояніи въ ней работать, есть существен-

ная разница. Если считать, что конечная цѣль ученья состоитъ въ томъ, чтобы примѣнять изученное на практикѣ (взглядъ этотъ отчасти справедливъ), то необходимо имѣть въ виду, что цѣль эта достигается по большей части лишь посредствомъ развитія научнаго мышленія. Это основное положеніе должно быть соблюдено въ физическомъ практикумѣ, хотя въ настоящее время оно еще не вездѣ сознано въ достаточной мѣрѣ. Рѣдко случается, чтобы преподаваніе физики не достигало цѣли потому, что его ведутъ слишкомъ научно. Разумѣется, выборъ матеріала для работы долженъ соотвѣтствовать навыку ученика, а глубина изложенія, въ особенности тогда, когда примѣняются вспомогательныя средства математики, должна соотвѣтствовать его предварительной подготовкѣ; однако въ области физики даже и элементарному изложенію не отрѣзана возможность остаться на научномъ пути. Именно по этой причинѣ физика, какъ предметъ общеобразовательный, имѣетъ незамѣнимую цѣну.

По опыту знаю и смѣло могу сказать, что въ томъ же убѣдились всѣ учителя физики: въ преподаваніи, какъ и въ самой научной работѣ, (въ особенности ярко замѣтно это на научныхъ результатахъ послѣднихъ лѣтъ) достигаются наибольшіе, глубоко проникающіе даже въ обыденную жизнь успѣхи тогда, когда наука идетъ своимъ естественнымъ путемъ и приложенія непосредственно не имѣются въ виду. Электротехника, напримѣръ, обязана своимъ безпримѣрно-быстрымъ развитіемъ, которымъ она справедливо гордится, не только геніальной изобрѣтательности своихъ дѣятелей и правильному пониманію ими практическихъ потребностей, но главнымъ образомъ тому обстоятельству, что физическія основы этой области по существу были разработаны въ совершенствѣ, и что люди, практически разрабатывавшіе ее, прошли научную школу.

Само по себѣ ненужное научное познаніе, — одна изъ областей, всегда смѣло могущихъ разсчитывать на поддержку со стороны національнаго честолюбія, — не есть единственный носитель культуры; однако оно принадлежитъ къ числу носителей наиболѣе широко распространенныхъ, — слово, которое не можетъ вызвать въ данномъ случаѣ возраженій, такъ какъ каждому предоставляется принимать участіе въ научномъ изслѣдованіи.

И къ числу вспомогательныхъ средствъ, приготовляющихъ къ работѣ вмѣстѣ съ другими въ этой области, принадлежитъ, играя роль важной составной части, физическій практикумъ. Конечно, онъ

долженъ служить не только чистой наукѣ, но и преслѣдовать непосредственно-практическія цѣли; однако послѣднія будутъ достигнуты учащимся тѣмъ успѣшнѣе, чѣмъ болѣе онъ способенъ цѣнить задачи не только по ихъ цѣли, но и съ чисто научной точки зрѣнія.

То обстоятельство, что „краткое руководство" своимъ текстомъ, а также обозначеніями и рисунками по возможности примыкаетъ къ моему болѣе обширному учебнику, не является слѣдствіемъ только удобства или экономіи; это казалось умѣстнымъ и въ интересахъ преподаванія, такъ какъ облегчаетъ параллельное пользованіе обоими изданіями. Дѣйствительно, будущій физикъ, математикъ, физико-химикъ, электротехникъ или кто-нибудь въ этомъ родѣ со временемъ, по моему предположенію, вообще будетъ придерживаться болѣе полнаго изданія, которое представляетъ нѣкоторыя преимущества благодаря сжатому изложенію, умѣстному тамъ и облегченному болѣе обширнымъ примѣненіемъ математики, а также благодаря своей большей полнотѣ.

Отдѣльнымъ задачамъ предшествуетъ обыкновенно краткое объясненіе; указаніямъ относительно практическаго выполненія работы отведено больше мѣста, чѣмъ раньше, при чемъ однако въ описаніи приборовъ, которые работающій по большей части получаетъ прямо готовыми или съ подробнымъ наставленіемъ относительно ихъ сборки, и относительно которыхъ онъ всегда можетъ навести справки въ учебникѣ физики, — мы не шли дальше самаго необходимаго. Выполненію задачи долженъ быть предоставленъ, насколько возможно, широкій просторъ, съ одной стороны для того, чтобы не стѣснять отдѣльныя лабораторіи, а еще болѣе для того, чтобы сохранить въ необходимой мѣрѣ умственную самостоятельность работающаго. А вѣдь это послѣднее и есть главная задача начальнаго практикума. Цѣнность представляетъ не задача, выполненная согласно схемѣ, а то умственное достояніе, которое пріобрѣтаетъ работающій при ея выполненіи. Достояніе же это становится тѣмъ болѣе ограниченнымъ, чѣмъ болѣе схематизируется работа, и потому готовые методы и инструменты не слѣдуетъ предлагать въ большей мѣрѣ, чѣмъ это требуется необходимыми для веденія лабораторіи порядкомъ и простотой.

При выборѣ задачъ, согласно идеѣ этой книги, можно было стать на двѣ точки зрѣнія. При одномъ только слушаніи лекцій

значительная часть физическихъ законовъ недостаточно глубоко проникаетъ въ сознаніе слушателя и недостаточно глубоко его заинтересовываетъ; часто однако достаточно только одинъ разъ примѣнить данный законъ, чтобы восполнить этотъ пробѣлъ. Во-вторыхъ, существуетъ цѣлый рядъ задачъ, выполненіе которыхъ должно быть извѣстно, напримѣръ, въ химіи, минералогіи, медицинѣ, фармаціи и въ профессіяхъ, обычно называемыхъ техническими, задачъ, которыя вообще даже не могутъ быть затронуты во время лекцій.

Если объединить обѣ точки зрѣнія, то въ результатѣ окажется, что элементарный практикумъ вообще не долженъ дѣлать слишкомъ рѣзкихъ индивидуальныхъ разграниченій при выборѣ задачъ для студентовъ различныхъ категорій. На этомъ-то и основывается универсальное значеніе упражненій по физикѣ и возможность относиться къ студентамъ различныхъ спеціальностей, если не совершенно одинаково, то во всякомъ случаѣ настолько единообразно, чтобы всѣмъ имъ былъ пригоденъ по существу одинъ и тотъ же курсъ практическихъ занятій и, какъ мы это имѣемъ въ виду здѣсь, одна и та же книга.

Таблицы заключаютъ въ себѣ то, чего требуетъ намѣченная цѣль, а кромѣ того кое-что полезное для домашней работы по физикѣ. Въ послѣднемъ отношеніи въ особенности приняты во вниманіе потребности химіи.

Во второмъ изданіи, кромѣ добавленія нѣсколькихъ задачъ и рисунковъ, главнымъ образомъ существенно расширенъ и сдѣланъ болѣе нагляднымъ текстъ; это должно облегчить болѣе глубокое пониманіе задачъ и дать толчокъ къ изученію того отдѣла, къ которому онъ относится.

Профессоръ Рудольфъ Веберъ въ Гейдельбергѣ, извѣстный своей многолѣтней опытностью въ дѣлѣ практическихъ занятій по физикѣ, существенно содѣйствовалъ изданію и имѣлъ любезность просмотрѣть корректуры.

Марбургъ, апрѣль 1907.

ВВЕДЕНІЕ

1. Единицы измѣренія. Абсолютная или CGS-система мѣръ

Около середины прошлаго столѣтія закончилось развитіе системы физическихъ единицъ, сводящей измѣреніе величинъ всякаго рода къ измѣренію длины, массы и времени; система эта сдѣлала всесторонне понятными не только количественныя данныя, связанныя съ чистымъ естествознаніемъ, но и данныя, встрѣчающіяся въ техническихъ наукахъ. Здѣсь мы изложимъ, какимъ именно способомъ всѣ физическія величины, отъ болѣе простыхъ до самыхъ сложныхъ, были сведены къ упомянутымъ выше тремъ основнымъ величинамъ[1]).

Если требуется физически описать какой-либо предметъ, процессъ или состояніе, то кратчайшій путь къ этому будетъ состоять въ томъ, чтобы указать его родъ и его величину. Указаніе это получаютъ въ результатѣ измѣренія, т. е. находятъ число, выражающее, сколько разъ въ измѣряемой величинѣ содержится другая извѣстная величина того же рода, называемая единицей. Кромѣ того, иногда можетъ потребоваться указаніе мѣста, а при такъ называемыхъ „направленныхъ величинахъ" еще и указаніе ихъ направленія въ пространствѣ.

Единицей можетъ служить каждая извѣстная неизмѣнная величина того же рода, какъ и измѣряемая величина. Такъ, напримѣръ, единицами могли бы служить длина нѣкоторой палки, объемъ подходящаго полаго тѣла, масса какого-нибудь тѣла, время колебанія опредѣленнаго маятника, электрическое сопротивленіе опредѣленной проволоки. Такія основныя мѣры (эталоны) пришлось бы

---

[1]) Излагая въ самомъ началѣ книги систему мѣръ, мы не считаемъ однако, что всестороннее ея изученіе должно быть предпосылаемо работамъ по физикѣ. Вполнѣ ясное пониманіе значенія единицъ можетъ явиться лишь послѣ выполненія работъ, при которыхъ онѣ примѣняются; на эти работы мы въ соотвѣтствующихъ мѣстахъ сдѣлаемъ ссылки.

сохранять. Въ качествѣ единицы силы можно было бы использовать притяженіе землею нѣкотораго опредѣленнаго тѣла, которое также слѣдовало бы сохранять, въ качествѣ единицы скорости — скорость свободно падающаго тѣла въ концѣ первой секунды и т. д. Для потребностей физическихъ измѣреній можно было бы установить добрую сотню подобныхъ единицъ измѣренія, если бы выбирать ихъ произвольно.

Было бы однако не легко съ одной стороны сохранить всѣ эти основныя мѣры неизмѣнными, съ другой стороны — сдѣлать ихъ доступными. Кромѣ того, при примѣненіи единицъ, не связанныхъ въ опредѣленную систему, возникли бы столь значительныя неудобства, что объ ихъ размѣрахъ теперь съ трудомъ даже можно составить себѣ представленіе, ибо физика при выработкѣ самыхъ основъ измѣренія уже не одно столѣтіе стремилась къ тому, чтобы привести единицы измѣренія въ систему.

Простое положеніе, служившее при этомъ путеводной нитью, состоитъ въ томъ, чтобы по возможности уменьшить число произвольно опредѣленныхъ мѣръ и при этомъ ограничиться такими единицами, которыя, во-первыхъ, по возможности легко сохраняются безъ измѣненія или воспроизводятся и, во-вторыхъ, оказываются подходящими для того, чтобы выводить изъ нихъ остальныя единицы. Послѣднее производится на основаніи геометрическихъ, кинематическихъ или физическихъ законовъ, связывающихъ различные роды величинъ. Такъ, напримѣръ, объемъ сводится къ длинѣ, скорость къ длинѣ и времени, количество тепла, по условію, къ градусу температуры и къ водѣ, количество электричества — къ тѣмъ силамъ, которыя оно проявляетъ. Единицы, установленныя подобнымъ образомъ, называются „производными" единицами. Опредѣленіе ихъ производится такъ, что въ то же время законъ, служащій для опредѣленія единицы, получаетъ возможно болѣе простой видъ. Именно, приводятъ къ наиболѣе удобному числу ту „константу", которая связываетъ въ законѣ различные роды величинъ, и числовое значеніе которой зависитъ какъ-разъ отъ единицъ, служащихъ для измѣренія этихъ величинъ. Напримѣръ, объемъ v куба съ ребромъ l пропорціоналенъ l^3, откуда $v = C \cdot l^3$. Если объемы мѣрить четверикомъ, а длины футомъ, то $C = 1{\cdot}78$. Принимая же за единицу объема кубъ, построенный на единицѣ длины, мы тѣмъ самымъ придаемъ C значеніе 1.

О томъ, какъ мало наглядна была бы система единицъ, не опирающаяся на этотъ принципъ, впервые сознательно введенный во французской системѣ мѣръ, мы можемъ составить себѣ нѣкоторое представленіе, разсматривая системы мѣръ тѣхъ немногихъ культурныхъ государствъ, которыя до сихъ поръ еще отказываются принять вполнѣ этотъ принципъ.

Въ настоящее время въ физикѣ пріобрѣли господство слѣдующія основныя мѣры: единица времени, выведенная изъ движенія земли, единица длины, приведенная къ обхвату земного шара и единица массы, связанная съ единицей длины при посредствѣ воды.

Изъ этихъ трехъ основныхъ единицъ стремятся вывести остальныя физическія единицы измѣренія. Возникающая такимъ образомъ, развитая въ особенности Гауссомъ и Вильгельмомъ Веберомъ система единицъ справедливо называется абсолютной[1]) или динамической. При этомъ предпочитаютъ принимать за основныя единицы секунду, сантиметръ и граммъ. Выведенныя отсюда единицы называединицами *Сантиметръ-Граммъ-Секунда* или CGS-единицами.

Слѣдуетъ обратить вниманіе на то, что граммъ здѣсь означаетъ не силу, какъ въ просторѣчіи и въ „статической“ системѣ мѣръ, а массу. Вѣсъ тѣла въ m граммовъ равенъ $g \cdot m$, работа, которую мы производимъ, напримѣръ, при подыманіи 1 *кг* на 1 *м*, равна не $1000 \cdot 100$, а $1000 \cdot 100 \cdot g$ CGS, если g обозначаетъ ускореніе силы тяжести.

Размѣрности производныхъ единицъ. Въ абсолютной системѣ мѣръ всѣ величины представляются, какъ функціи длины $[l]$, массы $[m]$ и времени $[t]$. Напримѣръ, объемъ v куба съ ребромъ l есть $v = l^3$, т. е. v единицъ объема $=$ (l единицъ длины)^3, или $v \times$ единицу объема $= l^3 \times$ (единицу длины)^3. Число v, конечно, равно числу l^3, такъ что можно написать: единица объема равна (единицѣ длины)^3. — Скорость u приравнивается пройденному пути l, дѣленному на вре-

[1]) Впервые названіе „абсолютной“ эта система получила случайно. Названіе это не имѣло въ виду выдѣлить эту систему, какъ единственно вѣрную, обладающую особымъ значеніемъ. Въ первый разъ слово абсолютный было употреблено для обозначенія системы, по которой Гауссъ образовалъ единицу, выведенную изъ длины, массы и времени и послужившую ему для того, чтобы измѣреніе, сдѣланное до тѣхъ поръ лишь относительно (именно, измѣреніе силы земного магнитнаго поля) превратить въ абсолютное. Лишь впослѣдствіи стали пытаться придать этому названію болѣе широкое содержаніе, чѣмъ то, которое въ немъ заключалось.

мя движенія, $u = l : t$, т. е. если выдѣлить единицы, которыя слѣдуетъ представлять себѣ какъ бы множителями чиселъ, то получится $u \times$ единицу скорости $= \frac{l}{t} \times \frac{\text{единицу длины}}{\text{единицу времени}}$. Отбрасывая равныя числовыя величины u и l/t, имѣемъ: единица скорости = единицѣ длины : единицу времени. Такимъ же образомъ ниже мы найдемъ соотношеніе: единица силы = единицѣ массы $\times \frac{\text{единицу длины}}{(\text{единицу времени})^2}$ и т. д.

Если обозначать единицы буквами, заключенными въ прямыя скобки, то $[v] = [l]^3$, $[u] = [l]\ [t]^{-1}$, $[k] = [l]\ [m]\ [t]^{-2}$. Показатели называются „размѣрностями", въ которыхъ основныя единицы входятъ въ производныя; говорятъ, напримѣръ, что единица силы имѣетъ относительно единицъ длины и массы размѣрность 1, относительно времени размѣрность —2. Или же говорятъ короче: сила имѣетъ относительно длины и массы размѣрность 1, относительно времени размѣрность —2, и пишутъ $[k] = [l\,.\,m\,.\,t^{-2}]$; скобки здѣсь должны обозначать, что принимается во вниманіе только родъ величины.

Знаніе размѣрностей производной единицы полезно, между прочимъ, въ томъ случаѣ, если спрашивается, какъ измѣняется эта единица отъ измѣненія одной или нѣсколькихъ основныхъ единицъ, напримѣръ, при переходѣ отъ секунды къ минутѣ, или отъ *см*, *г* къ *мм*, *мг*, или къ *дм*, *кг* и т. д. Дѣло въ томъ, что если основная единица, входящая въ производную въ p-той степени, измѣнится въ n разъ, то величина производной единицы измѣнится въ n^p разъ.

Напримѣръ, скорость $= l\,.\,t^{-1}$; величина же единицы скорости измѣняется при переходѣ отъ *см* къ *м* въ 100^{+1} разъ, а при переходѣ отъ секунды къ минутѣ въ 60^{-1} разъ. Единица силы $[lm/t^2]$ измѣняется при переходѣ отъ *см*, *г* къ *м*, *кг* въ $100^{+1}\,.\,1000^{+1} = 10^5$ разъ; при переходѣ отъ секунды къ минутѣ въ 60^{-2} разъ, т. е. становится въ 3600 разъ меньше.

Приставки дека-, гекто-, кило- и мега-, и соотвѣтствующія имъ деци-, санти-, милли- и микро-, обозначаютъ единицы въ 10, 100, 1000 и 10^6 разъ большія и меньшія; употребляются, напримѣръ, названія: милливольтъ, мегомъ, микрофарадъ.

CGS-единицы, выведенныя изъ пространства и времени

Въ качествѣ основныхъ единицъ служатъ: $\frac{1}{10^9}$ часть четверти земного меридіана, сантиметръ, для длины $[l]$; масса кубическаго сантиметра воды при 4^0, граммъ, для массы $[m]$; $\frac{1}{86400}$ часть среднихъ су-

токъ, т. е. средняго времени поворота земли по отношенію къ солнцу, секунда, для времени $[t]$.

1. **Площадь** $f=[l^2]$. Единица квадратный сантиметръ.

2. **Объемъ** $v=[l^3]$. Единица кубическій сантиметръ.

3. **Уголъ** φ. Уголъ равенъ единицѣ, если дуга его равна радіусу. Онъ составляетъ $57{\cdot}296^0$.

Эта единица соотвѣтствуетъ принятому въ механикѣ обычаю выражать уголъ длиною соотвѣтствующей ему дуги съ радіусомъ единица. Малый уголъ численно равенъ въ этомъ случаѣ своему синусу или тангенсу. Размѣрность $= l/l = 1$ (т. е. не зависитъ отъ основныхъ единицъ).

4. **Скорость** $u=[lt^{-1}]$. Скоростью, равной единицѣ, обладаетъ точка, проходящая въ 1 секунду разстояніе въ 1 сантиметръ.

Скорость есть пройденный путь, дѣленный на время, употребленное на его прохожденіе.

5. **Ускореніе** $b=[lt^{-2}]$. Единицею служитъ ускореніе, при которомъ скорость въ 1 *сек* возрастаетъ на 1 *см/сек*

Если скорость возрастаетъ во время t на величину u, то движущійся предметъ обладаетъ ускореніемъ $b=u/t$. Ускореніе при паденіи составляетъ подъ 50^0 географической широты 981 *см/сек*² или 9·81 *м/сек*².

Механическія единицы

6. **Плотность** $s=[l^{-3}m]$. Единицею плотности обладаетъ тѣло, содержащее въ 1 *см*³ массу 1 *г*, т. е. вода при 4^0; см. **15** и слѣд.

7. **Сила** $k=[lmt^{-2}]$. Единицею силы служитъ сила, сообщающая массѣ 1 *г* въ теченіе 1 *сек* скорость 1 *см/сек;* эту единицу называютъ „диной". Ср., напримѣръ, **52.**

Основной законъ дѣйствія силы гласитъ: сила k, сообщающая массѣ m во время t скорость u (ускореніе u/t), прямо пропорціональна величинамъ m и u и обратно пропорціональна t; вполнѣ этотъ законъ выражается формулой $k=C\,.\,m\,.\,u/t$, гдѣ числовая величина постоянной C опредѣляется выборомъ единицъ. Однако всегда говорятъ: сила равна массѣ, умноженной на ускореніе, т. е. полагаютъ $C=1$. Этимъ самымъ уже опредѣляется единица силы, такъ какъ равенство $k=m\,u/t$ выражаетъ, что при m, u и t равныхъ единицѣ k также $=1$, т. е. что CGS-единица силы, „дина". представляетъ собою ту силу, которая 1 грамму въ теченіе 1 *сек* сообщаетъ скорость 1 *см/сек.*

Сила, дѣйствующая на 1 *мг* вслѣдствіе притяженія земли, такъ какъ она сообщаетъ массѣ 0·001 *г* въ 1 *сек* скорость 981 *см/сек*, составляетъ 0·001 . 981 = 0·981 *см г сек*$^{-2}$ = 0·981 дины. Дина, слѣдовательно, немного больше, чѣмъ притяженіе землею 1 *мг.*

8. **Давленіе** $p=[l^{-1}mt^{-2}]$. Единицею служитъ давленіе, при которомъ на 1 *см*² приходится сила 1 CGS или 1 дина.

Если силы распредѣлены по поверхности равномѣрно, то силу, дѣйствующую (перпендикулярно) на единицу площади, называютъ давленіемъ. Жидкость плотности s на глубинѣ въ h *см* подъ поверхностью производитъ давленіе $g\,h\,s$ $см^{-1}$ $г$ $сек^{-2}$ или g h s *динъ*/$см^2$, при чемъ для широты въ 50^0 величина $g = 981$ *см*/$сек^2$. Давленіе 1 *см* ртути равно поэтому 13·596 . 981 = 13340 *динъ*/$см^2$, а давленіе 1 атмосферы = 76 . 13340 = 1013800 *динъ*/$см^2$. Ср. **36.**

9. **Работа, энергія, живая сила, количество теплоты** $Q = [l^2mt^{-2}]$. Единица работы есть та работа, которую производитъ сила въ 1 дину при перемѣщеніи своей точки приложенія въ направленіи силы на 1 *см*. Единица эта называется 1 „эргъ". Практическія единицы электричества привели къ названію 1 „джауль", обозначающему количество работы въ 10^7 эрговъ; ср. Nr. 28.

Однородна съ работой живая сила, энергія движенія, или кинетическая энергія $\frac{1}{2}mu^2$ массы m, обладающей скоростью u.

Единица количества теплоты есть то количество теплоты, которое эквивалентно единицѣ работы. Ср. **49** и **111.**

Сила работаетъ въ томъ случаѣ, если точка ея приложенія перемѣщается. Производимая при этомъ работа равна силѣ, умноженной на слагающую пути въ направленіи силы.—При поднятіи 1 *кг* на 1 *м* (килограммъ-метръ техники) совершается работа въ 1000 . 981 . 100 = 98 100 000 эрговъ. Граммъ-калорія эквивалентна работѣ поднятія граммъ-вѣса на 427 метровъ, т. е. = 427 . 981 . 100 = 41 900 000 $см^2$ $г$ $сек^{-2}$ = 4·19 „джаулей".

10. **Мощность** $[l^2mt^{-3}]$. Подъ этимъ терминомъ понимаютъ интенсивность, съ которой работаетъ сила; мощность есть, слѣдовательно, работа, произведенная въ единицу времени.

1 *эрг*/*сек* = 1·019 . 10^{-8} *м* *кг*-вѣсъ/*сек* = 1·36 . 10^{-10} лошадиной силы.

Мощность въ 10^7 *эрг*/*сек* или въ 1 *джауль*/*сек* въ электротехникѣ называется 1 ваттомъ; 1000 ваттъ = 1 киловаттъ = 1·36 лошадиной силы. Ср. Nr. 28 и **104**.

11. **Моментъ вращенія** $P = [l^2mt^{-2}]$. Моментъ вращенія, равный единицѣ, представляется силой въ 1 дину, приложенной перпендикулярно къ плечу длиною въ 1 *см*.

Сила k, дѣйствующая на плечо l, развиваетъ моментъ вращенія $P = k \,.\, l$.

11a. **Направляющая сила** $D = [l^2mt^{-2}]$. Ср. напримѣръ, Nr. 21 и **73.**

Она служитъ мѣрой устойчивости положенія равновѣсія тѣла, могущаго вращаться около оси. Отклоненіе тѣла на малый уголъ φ (срав. Nr. 3) вызываетъ моментъ вращенія P, пропорціональный φ. Постоянное отношеніе $P/\varphi = D$ называется направляющей силой, дѣйствующей на тѣло.

Направляющая сила маятника, обладающаго массой $m = 1$ *кг*, находящейся на разстояніи $l = 1$ *м* отъ оси вращенія, составляетъ 100 . 1000 . 981 =

$= 98\,100\,000$ *см*^{2} *г сек*$^{-2}$, ибо моментъ вращенія для малаго угла отклоненія φ равенъ $l\,m\,g\,.\,\varphi$; ср. **35.**

12. **Моментъ инерціи** $K = [l^2 m]$. Единица представляется въ видѣ массы 1 *г* на разстояніи въ 1 *см* отъ оси вращенія. Ср. **29.**

Моментъ инерціи массы m на разстояніи l отъ оси вращенія равенъ $K = l^2 m$.

Моментъ инерціи маятника, упомянутаго въ Nr. 11 a, есть, слѣдовательно, $100^2 \,.\, 1000 = 10^7$ *см*^{2} *г*.

Способное вращаться тѣло съ моментомъ инерціи K получаетъ подъ дѣйствіемъ момента вращенія D угловое ускореніе (срав. Nr. 3 и 5) D/K.

Моментъ инерціи K, направляющая сила D и періодъ колебанія t связаны между собою равенствомъ $t^2/\pi^2 = K/D$. Ср. **35; 55; 73** I.

13. **Модуль упругости** $\eta = [l^{-1} m t^{-2}]$; ср. **52—56.** Если то удлиненіе λ, которое испытываетъ упругій стержень длины L съ поперечнымъ сѣченіемъ l^2 подъ дѣйствіемъ растягивающей силы k, изобразить формулой

$$\lambda = \frac{1}{\eta}\,k\,\frac{L}{l^2}, \text{ то } \eta = k\,\frac{L}{l^2\lambda}\,\frac{\textit{динъ}}{\textit{см}^2}$$

будетъ выражать модуль упругости въ CGS-единицахъ. $\sqrt{\eta/s}$ даетъ скорость звука въ *см/сек*.

Модули упругости, на практикѣ обыкновенно измѣряемые въ единицахъ *кг*-вѣсъ/*мм*^{2}, для приведенія къ системѣ CGS, очевидно, необходимо умножать на $1000 \,.\, 981 \,.\, 100 = 98\,100\,000$. Ср. **52.**

Электрическія единицы по электростатической системѣ

Электрическія единицы выводятся изъ тѣхъ силъ, которыя производитъ электричество. Существуетъ двѣ простыхъ исходныхъ точки и потому двѣ различныя системы электрическихъ единицъ. „Электростатическая“ система исходитъ изъ силъ, существующихъ между покоящимися количествами электричества, а „электромагнитная“ изъ силъ между движущимся электричествомъ и магнитизмомъ.

14. **Количество электричества** $e = [l^{3/2} m^{1/2} t^{-1}]$. „Электростатическая“ или „механическая“ единица количества электричества есть то количество, которое равное себѣ количество на разстояніи 1 *см* въ пустотѣ или (что̀ приблизительно то же) въ воздухѣ отталкиваетъ съ силой въ 1 дину.

Какъ непосредственно видно, эта единица вытекаетъ изъ такого выраженія закона Кулона: сила k, съ которой количество электричества e дѣйствуетъ на другое количество e' на разстояніи l, равна $k = ee'/l^2$.

Размѣрность получается слѣдующимъ образомъ: если количество электричества e отталкиваетъ равное себѣ количество на разстояніи l съ си-

лою k, то $e = l \cdot \sqrt{k}$. Размѣрность k выражается черезъ $[lmt^{-2}]$, а слѣдовательно, размѣрность e черезъ $[l] \cdot [l^{1/2}m^{1/2}t^{-1}] = [l^{3/2}m^{1/2}t^{-1}]$. Ср. Nr. 23.

15. **Напряженіе электрическаго поля** $\mathfrak{F} = [l^{-1/2}m^{1/2}t^{-1}]$. Сила, дѣйствующая въ данномъ мѣстѣ на единицу количества электричества, называется напряженіемъ электрическаго поля въ этомъ мѣстѣ. Единицею напряженія обладаетъ, слѣдовательно, поле, въ которомъ на единицу количества электричества дѣйствуетъ сила въ 1 дину. Направленіе поля считаютъ по дѣйствію на положительное электричество.

Поле, окружающее количество электричества въ e CGS-единицъ, въ точкѣ, находящейся на разстояніи l *см* отъ этого количества, имѣетъ силу e/l^2 $[см^{-1}\, г^{1/2}\, сек^{-1}]$.

Силовыя линіи. Силовое дѣйствіе количествъ электричества можно изобразить посредствомъ линій (Фарадэй). Отъ каждой единицы электричества исходятъ 4π силовыхъ линій. Направленіе линій даетъ направленіе силы. Густота, т. е. число линій въ пучкѣ съ площадью перпендикулярнаго сѣченія въ 1 $см^2$ даетъ силу поля въ данномъ мѣстѣ.

Ибо, если отъ количества электричества e расходятся въ пространство по радіусамъ равномѣрно во всѣ стороны $4\pi e$ силовыхъ линій, то, распредѣляясь на разстояніи l по поверхности шара $4\pi l^2$, онѣ имѣютъ густоту $4\pi e/(4\pi l^2) = e/l^2$, что и требовалось доказать.

16. **Электростатическій потенціалъ или напряженіе** $V = [l^{1/2}m^{1/2}t^{-1}]$. Единицей потенціала обладаетъ шаръ радіуса 1 *см*, по поверхности котораго равномѣрно распредѣлено количество электричества единица. Ср. **113**.

Если имѣются массы, вызывающія притягательныя или отталкивательныя силы, обратно пропорціональныя квадрату разстоянія, то потенціаломъ этихъ массъ на точку, находящуюся около нихъ, называютъ такое выраженіе, паденіе котораго по какому-нибудь направленію даетъ силу, дѣйствующую по этому направленію въ этой точкѣ на массу, равную единицѣ (въ случаѣ электрическихъ количествъ, слѣдовательно, силу поля). Паденіе есть отношеніе величины, на которую уменьшается выраженіе при переходѣ отъ разсматриваемой точки къ сосѣдней, къ разстоянію обѣихъ точекъ; короче говоря, взятая со знакомъ минусъ производная выраженія по разсматриваемому направленію. Потенціалъ количества электричества e на точку, находящуюся на разстояніи r, равенъ e/r; ибо $-\frac{d(e/r)}{dr} = \frac{e}{r^2}$.

Потенціалы многихъ количествъ электричества, напримѣръ, частей электрическаго заряда тѣла, на точку просто складываются, такъ что, напримѣръ, потенціалъ, который производится количествомъ электричества e, равномѣрно распредѣленнымъ по поверхности шара радіуса r, на центръ этого шара, равенъ e/r.

17. **Электрическая емкость,** т. е. то количество электричества, которое имѣетъ на себѣ проводникъ, заряженный до потенціала единица, въ электростатической мѣрѣ $c = [l]$. Единицу емкости имѣетъ шарообразный проводникъ съ радіусомъ въ 1 *см.*

Чтобы количество электричества $\mathfrak{e}$ было на проводникѣ въ равновѣсіи, оно должно распредѣлиться такъ, чтобы электрическія частицы не испытывали никакихъ перемѣщающихъ силъ, т. е. (ср. Nr. 16) чтобы потенціалъ V въ проводникѣ былъ постояннымъ. Потенціалъ (напряженіе) и количество заряда проводника пропорціональны между собою; $\mathfrak{e} = c.\ V$. Отношеніе $c = \mathfrak{e}/V$ называютъ электростатической емкостью проводника.

Емкость уединеннаго шара равна его радіусу, потому что количество электричества $\mathfrak{e}$, распредѣленное по поверхности шара радіуса r, производитъ въ шарѣ постоянный потенціалъ, величину котораго мы находимъ равной $\mathfrak{e}/r$ (напримѣръ по дѣйствію на центръ).—Потенціалъ какого бы то ни было заряженнаго проводника можно поэтому считать равнымъ тому количеству электричества, которое должно было бы находиться на шарѣ, удаленномъ на значительное разстояніе и соединенномъ съ проводникомъ очень тонкой проволокой, для того, чтобы существовало равновѣсіе съ зарядомъ тѣла.

18. **Сила электрическаго тока** $i = [l^{3/2} m^{1/2} t^{-2}]$. „Электростатически“ или „механически“ измѣренной единицей силы электрическаго тока обладаетъ токъ, при которомъ въ 1 *сек* черезъ поперечное сѣченіе проводника протекаетъ количества электричества 1 CGS (ср. Nr. 14).

Магнитныя единицы

Ср. также замѣчанія, сдѣланныя по поводу электростатическихъ единицъ; по большей части ихъ можно примѣнить и къ магнитизму.

19. **Свободный магнитизмъ или сила магнитнаго полюса** $\mathfrak{m} = [l^{3/2} m^{1/2} t^{-1}]$. Единица свободнаго магнитизма (или силы магнитнаго полюса) есть то количество (или тотъ полюсъ), которое на равное себѣ количество на единицѣ разстоянія дѣйствуетъ съ силой равной единицѣ (1 динѣ) (ср. Nr. 7).

20. **Магнитный моментъ** $M = [l^{5/2} m^{1/2} t^{-1}]$. Единицею обладаетъ магнитъ съ двумя единичными полюсами ± 1, находящимися на разстояніи 1 *см* другъ отъ друга.

Каждый магнитъ обладаетъ одинаковыми количествами положительнаго и отрицательнаго магнитизма. Простѣйшій магнитъ, имѣющій форму стержня, долженъ былъ бы состоять изъ двухъ одинаково сильныхъ полюсовъ, представляющихъ собою точки. Магнитъ, состоящій изъ двухъ полюсовъ силы $\pm \mathfrak{m}$ на разстояніи l, имѣетъ магнитный моментъ $M = l\mathfrak{m}$. Ср. **76.**

Дѣйствія на разстояніи пропорціональны M.

Дѣйствіе на разстояніи при первомъ основномъ положеніи. Пусть магнитъ $\mathfrak{m}l$ дѣйствуетъ на магнитный полюсъ $\mathfrak{m}'$, находящійся въ раз-

стояніи L отъ его средины. Равнодѣйствующая сила k, дѣйствующая на $\mathfrak{m}'$,

$+\mathfrak{m}$ $-\mathfrak{m}$ $\mathfrak{m}'$
l

представляетъ собою разность силъ, производимыхъ обоими полюсами, т. е.

$$k = \frac{\mathfrak{m}\mathfrak{m}'}{(L-\frac{1}{2}l)^2} - \frac{\mathfrak{m}\mathfrak{m}'}{(L+\frac{1}{2}l)^2} = 2l\mathfrak{m}\mathfrak{m}' \cdot \frac{L}{(L^2-\frac{1}{4}l^2)^2}.$$

$l\mathfrak{m}$ есть магнитный моментъ $= M$. Слѣдовательно

$$k = 2M\mathfrak{m}'\frac{L}{(L^2-\frac{1}{4}l^2)^2} = \frac{2M\mathfrak{m}'}{L^3}\frac{1}{(1-\frac{1}{4}l^2/L^2)^2}.$$

Если $\frac{1}{4}l^2/L^2$ мало въ сравненіи съ 1, то на основаніи **5**, рав. 5, вмѣсто этого можно написать

$$k = 2\frac{M\mathfrak{m}'}{L^3}\left(1+\frac{1}{2}\frac{l^2}{L^2}\right).$$

Для второго основного положенія (ср. **73** II) подобнымъ же образомъ получается

$$k = \frac{M\mathfrak{m}'}{L^3}\left(1-\frac{3}{8}\frac{l^2}{L^2}\right).$$

Если L очень велико сравнительно съ l, то величиною l^2/L^2 можно пренебречь, и такимъ образомъ въ обоихъ случаяхъ получаются выраженія, убывающія пропорціонально кубу разстоянія:

въ 1-омъ основномъ положеніи $k = 2M\mathfrak{m}'/L^3$,

во 2-омъ основномъ положеніи $k = M\mathfrak{m}'/L^3$.

Если замѣнимъ полюсъ $\mathfrak{m}'$ короткой магнитной стрѣлкой, перпендикулярной къ направленію силы и имѣющей длину l' и полюсы $\pm\mathfrak{m}'$, т. е. обладающей магнитнымъ моментомъ $M' = l'\mathfrak{m}'$, то на стрѣлку будетъ дѣйствовать моментъ вращенія $2k \,.\, l'/2 = kl'$, т. е.

въ 1-омъ положеніи $P = 2MM'/L^3$,

во 2-омъ положеніи $P = MM'/L^3$;

въ случаѣ надобности къ этимъ формуламъ присоединяются поправочные множители, зависящіе отъ длины магнита, данные выше въ скобкахъ, а также при болѣе длинныхъ стрѣлкахъ, зависяшіе отъ длины стрѣлки (срав. **73** II).

Если стрѣлка образуетъ съ направленіемъ силы уголъ не въ 90°, а уголъ α, то вышеуказанный моментъ вращенія надо умножить на $\sin\alpha$.

21. Магнитная сила въ данномъ мѣстѣ или напряженіе магнитнаго поля H или $\mathfrak{H} = [l^{-1/2}m^{1/2}t^{-1}]$. Единица напряженія поля существуетъ въ томъ мѣстѣ, гдѣ на перпендикулярный къ направленію поля магнитъ съ моментомъ единица дѣйствуетъ моментъ вращенія единица, или на единичный полюсъ дѣйствуетъ сила равная единицѣ. CGS-единица напряженія магнитнаго поля называется „гауссъ“. Ср. **73** и слѣд.

Вслѣдствіе своего положенія въ данномъ мѣстѣ магнитный полюсъ $\mathfrak{m}$ испытываетъ (по причинѣ земного магнитизма, сосѣдства магнитовъ или элек-

трическихъ токовъ) пропорціональную $\mathfrak{m}$ силу k; $k = \mathfrak{m} \cdot H$. Величина H, дающая, слѣдовательно, силу, дѣйствующую на единичный полюсъ, называется напряженіемъ магнитной силы, или магнитнымъ напряженіемъ, или силой магнитнаго поля.

На магнитъ, перпендикулярный къ направленію силы и обладающій полюсами $\pm \mathfrak{m}$, отстоящими на разстояніи l другъ отъ друга, т. е. на магнитъ съ магнитнымъ моментомъ $M = \mathfrak{m}\, l$, дѣйствуетъ моментъ вращенія $2\mathfrak{m}H \cdot \frac{1}{2} l = \mathfrak{m} l H = M \cdot H$, или $MH \sin \varphi$, если магнитъ составляетъ уголъ φ съ направленіемъ силы. Слѣдовательно, MH есть направляющая сила. Если моментъ инерціи есть K (ср. Nr. 12), то для періода колебанія справедливо соотношеніе $t^2/\pi^2 = K/(MH)$. Для магнитовъ, могущихъ вращаться въ горизонтальной плоскости, H есть горизонтальная составляющая напряженія поля.

Пусть, для примѣра, $H = 0{\cdot}2$ *см*$^{-1/2}$ *г*$^{1/2}$ *сек*$^{-1}$. Пусть тонкій магнитъ вѣситъ 20 *г* и имѣетъ 10 *см* длины, такъ что $K = 20 \cdot 10^2/12 = 167$ *см*^{2} *г* (**29** I). Магнитный моментъ стержня пусть будетъ $M = 400$ *см*$^{5/2}$ *г*$^{1/2}$ *сек*$^{-1}$. Тогда

$$t = 3{\cdot}14 \sqrt{167/(400 \cdot 0{\cdot}2)} = 4{\cdot}5 \text{ сек.}$$

Отклоненіе магнитной стрѣлки. Пусть стрѣлка съ магнитнымъ моментомъ M' находится въ магнитномъ полѣ H. Пусть по направленію перпендикулярному къ полю на нее дѣйствуетъ моментъ вращенія PM', происходящій, напримѣръ, отъ присутствія отклоняющаго магнита или электрическаго тока. Стрѣлка установится тогда, отклонившись на уголъ φ, при которомъ возвращающій моментъ вращенія $HM' \sin \varphi$ равенъ отклоняющему $PM' \sin (90^0 - \varphi)$ или $PM' \cos \varphi$. Отсюда

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{P}{H}.$$

Магнитныя силовыя линіи. Магнитная индукція. Потокъ индукціи. Проницаемость. Направленіе силы и напряженіе магнитнаго поля въ каждомъ мѣстѣ представляются направленіемъ и густотою силовыхъ линій; подъ густотою подразумѣвается число линій, приходящихся на единицу площади, поставленной перпендикулярно къ ихъ направленію. Отъ магнитнаго полюса $+\mathfrak{m}$ или $-\mathfrak{m}$ въ окружающее пространство расходятся $4\pi\mathfrak{m}$ положительныхъ или отрицательныхъ единичныхъ силовыхъ линій. Ср. то, что было сказано объ электрическихъ силовыхъ линіяхъ въ Nr. 15.

Магнитное поле между двумя магнитными полюсами. Пусть два широкихъ, равныхъ по величинѣ, равномѣрно намагниченныхъ противоположными магнитизмами полюса, обладающихъ каждый площадью f и полнымъ напряженіемъ $\mathfrak{m}$, расположены другъ противъ друга на столь маломъ разстояніи, что всѣ $4\pi\mathfrak{m}$ силовыя линіи безъ замѣтнаго „разсѣянія“ направляются прямолинейно отъ одного полюса къ другому. Такъ какъ эти

линіи распредѣлены по площади f, то напряженіе поля между полюсами $\mathfrak{H} = \frac{4\pi\mathfrak{m}}{f} = 4\pi\frac{\mathfrak{m}}{f}$. Величину $\mathfrak{m}/f$ называютъ плотностью свободнаго магнитизма на плоскостяхъ полюсовъ.

Число единичныхъ силовыхъ линій, пронизывающихъ поперечное сѣченіе магнитнаго тѣла, называютъ обыкновенно потокомъ индукціи внутри этого тѣла. Единица потока индукціи (другими словами, CGS-единичная силовая линія) называется 1 „максвеллъ".

Плотность силовыхъ линій, т. е. число линій, пронизывающихъ единицу поперечнаго сѣченія, называется магнитной индукціей. Если въ тѣлѣ, способномъ намагничиваться, дѣйствующее въ немъ напряженіе поля $\mathfrak{H}$ производитъ магнитный моментъ J въ единицѣ объема (намагниченіе J), то $\kappa = J/\mathfrak{H}$ называется коэффиціентомъ намагниченія („воспріимчивостью") вещества. Черезъ единицу поперечнаго сѣченія этого тѣла проникаютъ тогда въ силу его намагниченія $4\pi J$ силовыхъ линій; къ нимъ присоединяются еще $\mathfrak{H}$ силовыхъ линій намагничивающаго поля, такъ что всего получается $4\pi J + \mathfrak{H} = (4\pi\kappa + 1)\mathfrak{H}$. Это выраженіе, обыкновенно обозначаемое буквой $\mathfrak{B}$, даетъ слѣдовательно, магнитную индукцію въ тѣлѣ. Потокъ индукціи сквозь поперечное сѣченіе f $см^2$ выражается черезъ $(4\pi\kappa + 1)\mathfrak{H} \cdot f$ или $\mathfrak{B}f$.

$4\pi\kappa + 1 = \mu$ называется магнитной проницаемостью тѣла.

κ и μ зависятъ не только отъ сорта желѣза; они измѣняютъ свою величину также и при измѣненіи самаго намагниченія, ибо по мѣрѣ увеличенія намагничивающей силы намагниченіе возрастаетъ лишь до извѣстнаго предѣла.

Электрическія единицы по электромагнитной системѣ

Здѣсь избираютъ путь обратный тому, по какому шли при установленіи электростатической системы: сначала опредѣляютъ единицу силы тока и отсюда выводятъ единицу количества электричества.

22. Сила тока въ электромагнитной мѣрѣ $i = [l^{1/2}m^{1/2}t^{-1}]$. Единица Вебера. Единицу даетъ токъ, единица длины котораго (1 $см$) на единичный магнитный полюсъ производитъ (поперечную) силу въ 1 дину; ср. Nr. 7. Дѣйствующій отрѣзокъ тока слѣдуетъ представлять себѣ согнутымъ въ дугу круга съ радіусомъ въ 1 $см$.

Небольшой отрѣзокъ тока длины l съ силою тока i дѣйствуетъ на магнитный полюсъ $\mathfrak{m}$, лежащій на перпендикулярѣ къ l, на разстояніи L, съ силою $k = i\mathfrak{m} \cdot l/L^2$. Отсюда вытекаетъ размѣрность $[i] = [l \cdot k \cdot \mathfrak{m}^{-1}]$ или, если вставить $k = lmt^{-2}$ и $\mathfrak{m} = l^{3/2}m^{1/2}t^{-1}$ (ср. Nr. 7 и 19), $[i] = [l^{1/2}m^{1/2}t^{-1}]$.

Изъ этого закона вытекаютъ слѣдующія положенія для плоскаго замкнутаго тока:

Круговой токъ i радіуса R оказываетъ на полюсъ $\mathfrak{m}$, лежащій въ центрѣ, силу $k = \mathfrak{m}i \cdot 2\pi R/R^2 = \mathfrak{m}i2\pi/R$; ср. **81**.

Внѣшнее дѣйствіе его, на разстояніи большомъ по сравненію съ его размѣрами, соотвѣтствуетъ дѣйствію продѣтаго сквозь него въ перпенди-



кулярномъ направленіи магнита съ магнитнымъ моментомъ *if*, гдѣ *f* означаетъ площадь, обтекаемую токомъ. — Катушка изъ *n* оборотовъ на каждомъ *см* своей длины, обтекаемая токомъ *i*, производитъ во внѣшнемъ пространствѣ такое дѣйствіе, какъ будто ея полюсныя поверхности выложены свободнымъ магнитизмомъ съ плотностью $\pm ni$. Внутри такой катушки, имѣющей прямолинейную форму, имѣется магнитное поле, обладающее въ мѣстахъ, достаточно удаленныхъ отъ конечныхъ поверхностей, постояннымъ напряженіемъ $4\pi ni$ (**110**).

Практическая единица силы тока. Подъ названіемъ амперъ употребляется въ качествѣ единицы измѣренія 10-ая часть вышеуказанной CGS-единицы. Токъ въ 1 амперъ отлагаетъ въ 1 *сек* электролитически 1·118 *мг* серебра.

23. Количество электричества въ электромагнитной мѣрѣ $q = [l^{1/2} m^{1/2}]$. Единицей служитъ количество электричества, переносимое токомъ, равнымъ единицѣ, въ единицу времени черезъ поперечное сѣченіе цѣпи. Единица эта во много разъ больше электростатической единицы Nr. 14, ибо содержитъ $300 \,.\, 10^8$ такихъ единицъ.

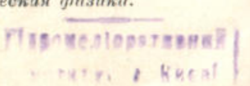
Практической единицей служитъ то количество электричества, которое при силѣ тока 1 амперъ протекаетъ черезъ поперечное сѣченіе проводника въ 1 *сек*. Оно называется амперъ-секундой или кулономъ и содержитъ, слѣдовательно, $300 \,.\, 10^7$ электростатическихъ CGS-единицъ.

24. Электродвижущая сила, напряженіе или разность потенціаловъ въ электромагнитной мѣрѣ $E = [l^{3/2} m^{1/2} t^{-2}]$; см. **100**.

Въ электромагнитной системѣ потенціаломъ называютъ также величину, паденіе (см. Nr. 16) которой въ извѣстномъ мѣстѣ представляетъ дѣйствующую тамъ на единичное количество электричества силу. Отсюда непосредственно слѣдуетъ, что въ электромагнитной мѣрѣ CGS-единица потенціала въ $300 \,.\, 10^8$ разъ менѣе, чѣмъ въ электростатической мѣрѣ, потому что единица силы остается та же, а единица количества электричества (ср. Nr. 23) въ $300 \,.\, 10^8$ разъ больше.

Разность потенціаловъ между двумя точками, напримѣръ, въ цѣпи тока, называютъ напряженіемъ или разностью напряженій между этими точками. — Разность потенціаловъ по обѣимъ сторонамъ мѣста соприкосновенія различныхъ проводниковъ называется электродвижущей силой. Электродвижущей силой гальваническаго элемента называютъ разность напряженій, существующую между полюсами элемента въ разомкнутомъ состояніи; она представляетъ собою результирующую электродвижущихъ силъ, существующихъ на отдѣльныхъ пограничныхъ поверхностяхъ.

Другого рода электродвижущія силы, именно распредѣленныя по нѣкоторому отрѣзку цѣпи, получаются посредствомъ магнитной индукціи; изъ нихъ можно вывести ту же единицу, слѣдующимъ, напримѣръ, образомъ.




Пусть въ магнитномъ полѣ, имѣющемъ силу 1 CGS, движется со скоростью 1 *см/сек* перпендикулярно къ себѣ самому и къ направленію поля проводникъ, расположенный перпендикулярно къ направленію поля. Электродвижущая сила, наведенная при этомъ въ каждомъ *см* проводника, представляетъ собою единицу CGS. Вмѣсто этого можно также сказать: электродвижущая сила единица индуцируется въ проводникѣ, движущемся въ магнитномъ полѣ такъ, что въ 1 *сек* пересѣкается одна силовая линія (Nr. 21).

Другое, тождественное съ вышеприведеннымъ, опредѣленіе единицы электродвижущей силы получается изъ разсмотрѣнія мощности. Именно, единицею служитъ электродвижущая сила, которая, производя токъ, равный единицѣ, даетъ въ секунду единицу работы, напримѣръ, возбуждаетъ въ проволокѣ (которая въ этомъ случаѣ, согласно Nr. 27, должна имѣть единицу сопротивленія) количество тепла, эквивалентное единицѣ работы.

Практическая единица вольтъ $= 10^8$ электромагнитныхъ CGS-единицъ.

1 Даніэль приблизительно $= 1{\cdot}1$ вольта; 1 аккумуляторъ $= 2{\cdot}0$ вольта; о нормальныхъ элементахъ см. **80** II. Электростатическая CGS-единица потенціала (Nr. 16) $= 300$ вольтъ; ср. выше.

25. **Емкость въ электромагнитной мѣрѣ** $c = [l^{-1}t^{-2}]$. Единицей обладаетъ конденсаторъ, который при напряженіи единица (или подъ дѣйствіемъ единицы электродвижущей силы) воспринимаетъ количество электричества, равное единицѣ.

Такъ какъ въ электромагнитной CGS-системѣ единица напряженія весьма мала, а единица количества электричества весьма велика, то такой конденсаторъ долженъ былъ бы имѣть колоссальные размѣры.

Въ практической системѣ единицей служитъ емкость конденсатора, который отъ 1 вольта заряжается количествомъ электричества 1 амперъ-секунда. Эта единица называется фарадомъ. Она въ 10^9 разъ меньше, чѣмъ CGS-единица, но все-таки настолько громадна, что емкости обыкновенно выражаются въ микрофарадахъ, т. е. въ милліонныхъ доляхъ фарада.

26. **Коэффиціентъ электрической индукціи** $S = [l]$. Коэффиціентъ индукціи проводника равенъ единицѣ, если измѣненіе тока со скоростью, равной единицѣ, наводитъ въ немъ электродвижущую силу, равную единицѣ.

Если измѣненіе тока въ проводникѣ на $\mathrm{d}i$ въ короткое время $\mathrm{d}t$ наводитъ въ томъ же проводникѣ электродвижущую силу $-S\,.\,\mathrm{d}i/\mathrm{d}t$, то S называется коэффиціентомъ индукціи или самоиндукціи проводника. Ср. **112**.

Практическая единица. Проводникъ имѣетъ коэффиціентъ индукціи единицу, если въ немъ индуцируется 1 вольтъ равномѣрнымъ измѣненіемъ тока на 1 *амперъ/сек*. Эта единица называется квадрантомъ или генри.

Поясненіе къ Nr. 27 и 28. Здѣсь принятъ за основаніе, во-первыхъ, законъ Ома (ср. **80** I), по которому электродвижущая сила (напряженіе) E въ сопротивленіи w вызываетъ токъ $i = E/w$; во-вторыхъ, законъ Джауля, расширенный впослѣдствіи (В. Томсономъ, Клаузіусомъ), выражающій, что количество тепла, развиваемое въ единицу времени токомъ i въ сопротивленіи w, въ абсолютной мѣрѣ (ср. Nr. 9) равно $Q = i^2 w$; или, такъ какъ $iw = E$, вмѣсто этого можно сказать: электродвижущая сила E, вызывая токъ i, возбуждаетъ въ цѣпи въ единицу времени количество тепла $Q = Ei$.

27. **Сопротивленіе проводника въ электромагнитной мѣрѣ** $w = [lt^{-1}]$. Единицѣ равняется сопротивленіе проводника, въ которомъ единица электродвижущей силы вызываетъ токъ, равный единицѣ.

Такъ какъ сопротивленіе = электродвижущей силѣ, дѣленной на токъ, то размѣрность его есть $[l^{3/2}m^{1/2}t^{-2}] : [l^{1/2}m^{1/2}t^{-1}] = [lt^{-1}]$. Сопротивленіе оказывается такимъ образомъ равнозначащимъ со скоростью.

Вмѣсто вышесказаннаго можно выразиться также слѣдующимъ образомъ: сопротивленіе равно единицѣ, если единица силы тока возбуждаетъ въ немъ въ теченіе 1 *сек* количество тепла, эквивалентное единицѣ работы; ср. Nr. 9 и 24, а также **111.**

Практическая единица. Единицу сопротивленія имѣетъ проводникъ, въ которомъ электродвижущая сила въ 1 вольтъ возбуждаетъ токъ въ 1 амперъ; эта единица называется омомъ. Такъ какъ 1 вольтъ = 10^8, а 1 амперъ = 10^{-1} CGS, то 1 омъ = 10^9 *см/сек*.

Международный омъ опредѣляется, какъ сопротивленіе столба ртути въ 1 *мм*^{2} поперечнаго сѣченія и въ 1·063 *м* длины при 0^0.

Удѣльное сопротивленіе $[l^2t^{-1}]$ и электропроводность $[l^{-2}t]$. Удѣльное сопротивленіе единицу и проводимость единицу имѣетъ проводникъ, кубическій сантиметръ котораго имѣетъ сопротивленіе единицу, практически, слѣдовательно, сопротивленіе 1 омъ.

Ртуть при 0^0 имѣетъ, слѣдовательно, электропроводность 10630 [*см*$^{-1}$*омъ*$^{-1}$] или удѣльное сопротивленіе 0·00009407 [*см омъ*] = 94·07 [*см микромъ*]. Наилучше проводящіе металлы обладаютъ электропроводностью приблизительно въ 600000, наилучше проводящіе электролиты при комнатной температурѣ приблизительно 0·7 [*см*$^{-1}$*омъ*$^{-1}$].

28. **Мощность тока, работа или энергія тока, теплота тока;** ср. Nr. 9, 10, 24 и 27. Токъ производитъ работу хотя бы тѣмъ, что возбуждаетъ теплоту въ проволочномъ сопротивленіи; онъ доставляетъ количество работы, равное единицѣ, въ томъ случаѣ, если имъ развивается количество тепла, эквивалентное единицѣ работы. — Мощностью тока называютъ работу, производимую токомъ въ 1 *сек*; мощность тока, равная единицѣ, имѣется, напримѣръ, въ проводникѣ съ сопротивленіемъ единица, когда по немъ течетъ токъ единица, или, что то же самое, когда на этотъ проводникъ дѣйствуетъ электродвижущая сила единица. Ср. **49, 104, 111.**

Практическая единица мощности есть вольтъ-амперъ, т. е. мощность, даваемая электродвижущей силой 1 вольтъ, когда она возбуждаетъ токъ въ 1 амперъ; единица эта называется 1 ваттъ = 10^7 CGS. — Единица работы тока есть, слѣдовательно, ваттъ-секунда или „джауль“ = 10^7 эрговъ = 0·239 *гр-кал*; ср. ниже.

Такъ какъ 1 амперъ = 0·1 CGS, а 1 вольтъ = 10^8 CGS (ср. Nr. 22 и 27), то 1 ваттъ, слѣдовательно, означаетъ мощность въ 10^7 CGS или въ 10^7 *эрг/сек* или 1 *джауль/сек*. Въ переводѣ на работу поднятія груза это равносильно 10^7/98 100 000 = 0·102 *метръ-килограммъ*-вѣсъ/*сек* или 0·102 : 75 = 0·00136 лошадиныхъ силъ; 1 киловаттъ = 1·36 лошадиныхъ силъ. Въ переводѣ на теплоту, на основаніи Nr. 9, получается 10^7/41 900 000 = 0·239 *гр-кал/сек*; токъ въ 1 амперъ развиваетъ, слѣдовательно, въ сопротивленіи въ 1 омъ количество тепла 0·239 *гр-кал* въ секунду. 1 ваттъ-часъ соотвѣтствуетъ 860 *гр-кал*, 1 киловаттъ-часъ (въ техникѣ освѣщенія стоющій приблизительно 25 коп.) равносиленъ теплотѣ, развиваемой при сгораніи 100 *г* каменнаго угля.

2. О точности измѣреній

Важнѣйшее правило при выполненіи каждаго измѣренія состоитъ въ томъ, чтобы вѣрно оцѣнить точность результата въ зависимости отъ основаній и цѣлей измѣренія. Слишкомъ высокая оцѣнка точности бываетъ, во-первыхъ, тогда, когда авторъ измѣренія, обманывая себя и другихъ, даетъ слишкомъ большое количество цифръ. Однако еще чаще та же ошибка встрѣчается въ другой формѣ: переоцѣнивъ съ самаго начала окончательный результатъ, выполняютъ отдѣльныя части работы съ безцѣльной тщательностью или съ ненужной точностью вычисляютъ поправки. Опредѣленіе плотности, при которомъ непосредственное измѣреніе объема произведено съ возможной ошиб- 1/10 *см*^{3}, или приготовленіе раствора соли, масса которой вслѣдствіе гигроскопичности извѣстна съ точностью, не превышающей одного процента, въ сущности не улучшаются отъ того, что взвѣшиваніе производится съ точностью до 1 *мг*. Если измѣряется электропроводность электролита, температура котораго извѣстна съ точностью до ± 1/2^0, то уже изъ одного послѣдняго обсто-

ятельства слѣдуетъ, что въ величинѣ электропроводности нельзя ручаться приблизительно за 1 %, и возможная ошибка не уменьшается отъ того, что самую электропроводность измѣряютъ съ особливой точностью.

Вообще, при измѣреніяхъ нерѣдко стремятся къ ненужно большой точности, и поэтому труды пропадаютъ понапрасну. На это слѣдуетъ обращать вниманіе, между прочимъ, при такихъ объектахъ, которые сами по себѣ не строго опредѣленны. Сюда относятся, напримѣръ, свойства многихъ твердыхъ веществъ, въ особенности органическихъ. Изъ числа этихъ свойствъ плотность, упругость, твердость, электрическія и термическія свойства, какъ напримѣръ, различныя электропроводности, совершенно даже не могутъ быть опредѣлены, какъ свойства вещества, какъ потому, что они не представляютъ собою величинъ постоянныхъ, а зависятъ отъ свойствъ, недоступныхъ опредѣленію съ достаточной точностью, какова, напримѣръ, гигроскопичность, такъ и потому, что по большей части они колеблются даже въ предѣлахъ изслѣдуемаго куска. Приводить удѣльный вѣсъ даннаго вида дерева съ точностью до $1/10000$ вообще не имѣетъ никакого смысла.

Къ обычнымъ видамъ слишкомъ низкой оцѣнки точности результата, съ другой стороны, принадлежитъ ошибочный образъ дѣйствій, при которомъ не замѣчаютъ или не обращаютъ достаточнаго вниманія на побочныя обстоятельства во время измѣренія. Прежде всего это можно сказать относительно температуры; обращать на нее вниманіе, можно сказать, почти при всѣхъ обстоятельствахъ, — предосторожность, къ которой наблюдатель привыкаетъ не слишкомъ скоро, и которая умѣстна въ особенности тогда, когда вліяніе температуры на явленіе еще не извѣстно.

Обладать критическимъ взглядомъ въ ту и другую сторону — вотъ предварительное условіе цѣлесообразной работы; выработать въ себѣ этотъ критическій взглядъ, если его еще нѣтъ, главная цѣль физическаго практикума.

Сюда принадлежитъ прежде всего правильная оцѣнка возможныхъ ошибокъ результата наблюденія. Рѣшительное сужденіе о нихъ можетъ быть выведено, во-первыхъ, изъ согласія отдѣльныхъ результатовъ, во-вторыхъ, изъ разсмотрѣнія методовъ.

3. Ошибки наблюденій; средняя и вѣроятная ошибки

Если одна и та же величина измѣрена нѣсколько разъ, то степень согласованія отдѣльныхъ результатовъ представляетъ средство составить сужденіе о вѣроятныхъ предѣлахъ погрѣшностей. Мы допускаемъ, что отдѣльныя опредѣленія, по условіямъ ихъ выполненія, всѣ обладаютъ одной и той же степенью надежности. Тогда, какъ извѣстно, среднее ариѳметическое изъ отдѣльныхъ полученныхъ результатовъ даетъ вѣроятнѣйшее значеніе искомой величины.

Было бы неправильно исключать изъ ряда наблюденій нѣкоторыя изъ нихъ на томъ только основаніи, что они не согласуются съ большинствомъ. Среднее ариѳметическое само сообразуется съ вѣроятностью бо́льшей ошибки

при болѣе значительномъ отклоненіи какого-нибудь числа: какъ единственное среди многихъ, это число оказываетъ незначительное вліяніе на среднее значеніе.

Сравнивая отдѣльныя числа съ среднимъ, находятъ бо́льшія или меньшія разности, „ошибки“, по величинѣ которыхъ оцѣниваютъ вѣроятную точность одного наблюденія или результата по слѣдующимъ правиламъ. Составляютъ сумму квадратовъ ошибокъ. Раздѣливъ эту сумму на число отдѣльныхъ наблюденій безъ одного, получаютъ квадратъ средней ошибки; квадратный корень изъ него называютъ средней ошибкой ϵ отдѣльнаго наблюденія.

Если раздѣлить ϵ на корень квадратный изъ числа наблюденій, получается такъ называемая средняя ошибка E результата.

Въ теоріи вѣроятностей выводится теорема, что умноженіе средней ошибки на 0·674 (число очень близкое къ $\frac{2}{3}$) даетъ вѣроятную ошибку. Этимъ хотятъ сказать, что съ одинаковой вѣроятностью можно утверждать какъ то, что сдѣланная ошибка меньше выведенной такимъ образомъ „вѣроятной ошибки“, такъ и то, что она больше послѣдней. То обстоятельство, что найденное число съ одинаковой вѣроятностью можетъ быть больше или меньше истиннаго, выражаютъ тѣмъ, что ставятъ предъ ошибкой знаки $\pm$.

Если обозначить черезъ

n число отдѣльныхъ опредѣленій,

$\Delta_1, \Delta_2, \ldots \Delta_n$ отклоненія ихъ отъ средняго ариѳметическаго ихъ,

S сумму квадратовъ ошибокъ, т. е:

$$S = \Delta_1^2 + \Delta_2^2 + \ldots + \Delta_n^2,$$

то, слѣдовательно, средняя ошибка

отдѣльнаго измѣренія $\qquad$ средняго

$$\epsilon = \pm\sqrt{\frac{S}{n-1}} \qquad E = \pm\sqrt{\frac{S}{n\,(n-1)}} = \frac{\epsilon}{\sqrt{n}}.$$

Вѣроятныя ошибки составляютъ $\frac{2}{3}$ этихъ.

Вычисленныя такимъ образомъ величины выражаютъ, разумѣется, лишь ту часть погрѣшности, которая обусловлена случайными ошибками наблюденія, то-есть, такими, вслѣдствіе которыхъ одинаково часто получаются какъ слишкомъ большія, такъ и слишкомъ малыя числа. Но кромѣ того могутъ быть постоянныя ошибки, причина которыхъ можетъ заключаться, напримѣръ, въ методѣ, и опредѣленіе которыхъ составляетъ особую задачу.

Примѣръ. Плотность тѣла была опредѣлена десять разъ.

Найдено	Δ	Δ^2
9·662	−0·0019	0·000004
9·673	+ 091	083
9·664	+ 001	000
9·659	− 049	024
9·677	+ 131	172
9·662	− 019	004
9·663	− 009	001
9·680	+ 161	259
9·645	− 189	357
9·654	−0·0099	0·000098
Среднее 9·6639		$S = 0{\cdot}001002$

Слѣдовательно, средняя ошибка одного измѣренія $\epsilon = \sqrt{\frac{0{\cdot}001002}{10-1}} = \pm 0{\cdot}011$,

средняя ошибка средняго результата $E = \pm 0{\cdot}011/\sqrt{10} = \pm 0{\cdot}0033$.
Отсюда вѣроятныя ошибки соотвѣтственно $\pm 0{\cdot}007$ и $\pm 0{\cdot}0022$.

Можно поэтому спорить одинъ противъ одного, что ошибка отдѣльнаго опредѣленія плотности меньше 0·007. Случайно, на самомъ дѣлѣ, пять изъ Δ меньше и пять больше 0·007.

4. Оцѣнка ошибки изъ метода; вліяніе ошибокъ наблюденій на результатъ

Вообще, результатъ не прямо дается наблюденіемъ, а долженъ быть выведенъ изъ него или изъ нѣсколькихъ набюденій вычисленіемъ: напримѣръ, вѣсъ изъ отчетовъ на шкалѣ вѣсовъ, плотность газа изъ времени истеченія, сила электрическаго тока изъ угла отклоненія, удѣльный вѣсъ изъ нѣсколькихъ взвѣшиваній, модуль упругости изъ измѣреній длины. Отсюда возникаетъ задача: опредѣлить ошибку результата, вытекающую изъ ошибки наблюденной величины.

Цѣлью этого вычисленія ошибокъ можетъ быть, кромѣ оцѣнки точности самого результата, сужденіе о томъ, въ какой мѣрѣ допустимы сокращенія въ вычисленіи, или рѣшеніе вопроса, къ какой части измѣреній слѣдуетъ отнестись съ наибольшей тщательностью. Кромѣ того часто въ нашей власти подбирать условія опыта различнымъ образомъ: исчисленіе погрѣшностей позволяетъ опредѣлить, при какомъ расположеніи опыта вліяніе ошибокъ наблюденій на результатъ наименьшее.

Назовемъ искомый результатъ (напримѣръ силу тока) z, наблюдаемую величину (уголъ отклоненія) x; тогда z опредѣляется, какъ функція отъ x, извѣстнымъ математическимъ выраженіемъ, въ которое входитъ x. Если теперь обозначимъ черезъ ξ ошибку, допущенную въ x, то обусловленная этимъ ошибка въ z, которую назовемъ ζ, найдется, если въ выраженіи, изъ котораго z вычисляется, вмѣсто x подставимъ $x+\xi$. При этомъ, разумѣется, ошибка ξ должна быть выражена въ тѣхъ же единицахъ, что и сама величина x. Теперь мы получимъ результатъ, нѣсколько отличный отъ истиннаго значенія z: величина разности и есть ошибка ζ.

Если ошибки наблюденій относительно малыя величины, то эти вычисленія весьма упрощаются примѣненіемъ приближенныхъ формулъ для вычисленій надъ малыми величинами. Данныя въ **5** формулы въ большинствѣ случаевъ достаточны для этой цѣли. Нѣсколько примѣровъ разъяснятъ это.

1. Примѣръ. Положимъ, что плотность газа d опредѣляется изъ времени истеченія t даннаго количества газа по формулѣ $d = C \,.\, t^2$, гдѣ C постоянная, опредѣленная для даннаго прибора. Спрашивается, какъ велика будетъ погрѣшность δ нашего результата, если при опредѣленіи t была допущена малая относительно ошибка τ. Имѣемъ, слѣдовательно, уравненіе $d+\delta = C(t+\tau)^2$. Для правой части уравненія пишемъ, согласно **5**, 2,

$$C(t+\tau)^2 = Ct^2\left(1+\frac{\tau}{t}\right)^2 = d\left(1+2\frac{\tau}{t}\right) = d+2d\frac{\tau}{t}\,\cdot$$

Слѣдовательно, ошибка результата $\delta = 2d\frac{\tau}{t}$, откуда $\frac{\delta}{d} = 2\frac{\tau}{t}\cdot$ Итакъ относительная ошибка при вычисленіи d вдвое больше относительной ошибки, допущенной при опредѣленіи t.

Такое удваиваніе происходитъ всегда, когда результатъ зависитъ отъ квадрата наблюдаемой величины, напримѣръ, при выводѣ модуля упругости изъ скорости звука или при опредѣленіи силы свѣта обыкновеннымъ фотометромъ. Наоборотъ, очевидно, что относительная ошибка наблюденія скажется на результатѣ лишь вполовину, если онъ содержитъ корень квадратный изъ наблюдаемой величины, и, значитъ, такой методъ ceteris paribus вчетверо выгоднѣе перваго.

2. Примѣръ. Допустимъ, что сила электрическаго тока опредѣляется изъ угла отклоненія x тангенсъ-буссоли по формулѣ $z = C \,.\, \operatorname{tg} x$, гдѣ C постоянный множитель. Если погрѣшность отчета равна ξ, то ζ, погрѣшность въ z, опредѣляется изъ уравненія (см. также **81**)

$$z+\zeta = C \,.\, \operatorname{tg}(x+\xi) = C\left(\operatorname{tg} x + \frac{\xi}{\cos^2 x}\right),$$

согласно формулѣ 10 III (стр. 27). Слѣдовательно,

$$\zeta = C\frac{\xi}{\cos^2 x} = z\frac{\xi}{\sin x \cos x} = z\frac{2\xi}{\sin 2x}.$$

Такимъ образомъ $2\xi/\sin 2x$ выражаетъ въ доляхъ z ошибку, соотвѣтствующую ошибкѣ отчета ξ. Отсюда слѣдуетъ, что уголъ приблизительно въ 45^0 наиболѣе выгоденъ, такъ какъ при $x = 45^0$ знаменатель $\sin 2x$ достигаетъ максимальнаго значенія, единицы.

3. Примѣръ. Опредѣленіе плотности твердаго тѣла. Если m вѣсъ тѣла въ воздухѣ, m' въ водѣ, то плотность $s = \frac{m}{m - m'}$. Слѣдовательно, s соотвѣтствуетъ здѣсь величинѣ, обозначенной на стр. 24 черезъ z, m или m' отвѣчаютъ x.

Ошибки въ m и m' можно разсматривать отдѣльно, такъ какъ оба наблюденія не зависятъ другъ отъ друга. Если бы при взвѣшиваніи въ воздухѣ мы допустили ошибку μ, то нашли бы $m + \mu$, вмѣсто истиннаго вѣса m, и получили бы, слѣдовательно, плотность $\frac{m+\mu}{m+\mu-m'}$.

Примѣняя формулу 8, стр. 27, мы можемъ это выраженіе написать такъ:

$$\frac{m}{m-m'}\,\frac{1+\mu/m}{1+\mu/(m-m')} = \frac{m}{m-m'}\left(1+\frac{\mu}{m}-\frac{\mu}{m-m'}\right) = s - \mu\frac{m'}{(m-m')^2}.$$

Ошибка результата есть, слѣдовательно, $\sigma = -\mu\,.\,m'/(m-m')^2$.

Если, съ другой стороны, станемъ разсматривать ошибку μ', допущенную при взвѣшиваніи въ водѣ, и вмѣсто m' вставимъ $m' + \mu'$, то результатъ съ ошибкой будетъ, какъ выше:

$$\frac{m}{m-(m'+\mu')} = \frac{m}{(m-m')[1-\mu'/(m-m')]} = \frac{m}{m-m'}\left(1+\frac{\mu'}{m-m'}\right).$$

Такимъ образомъ результатъ оказался бы больше истиннаго на

$$\sigma' = \mu\,.\,m/(m-m')^2.$$

Численный примѣръ. Тѣло (стр. 23) вѣсило въ воздухѣ, круглымъ числомъ, $m = 243{\cdot}6$, въ водѣ $m' = 218{\cdot}4$ *г*. Наибольшую погрѣшность вѣсовъ можно было оцѣнить въ $\mu = 5$ *мг*, при взвѣшиваніи же въ водѣ, менѣе точномъ, вслѣдствіе тренія въ водѣ, въ $\mu' = 8$ *мг*. Выразивъ всѣ эти величины въ *г* и вставивъ въ предыдущія формулы, получимъ:

ошибка σ, происходящая отъ μ, $= 0{\cdot}005\,.\,218{\cdot}4/25{\cdot}2^2 = 0{\cdot}0017$,
ошибка σ', происходящая отъ μ', $= 0{\cdot}008\,.\,243{\cdot}6/25{\cdot}2^2 = 0{\cdot}0031$.

Въ неблагопріятномъ случаѣ, если, напримѣръ, для m было найдено слишкомъ малое число, а для m' большое, общая ошибка была бы $0{\cdot}0048$. Слѣдовательно, если въ нѣкоторыхъ изъ опредѣленій (стр. 23) обнаруживаются значительно бóльшія отклоненія, то должны быть иные источники ошибокъ кромѣ неточности взвѣшиванія (пузырьки воздуха, неточное опредѣленіе температуры, ошибочный подсчетъ разновѣсокъ).

4. Примѣръ. Ускореніе силы тяжести g находится изъ длины l и періода колебанія t нитянаго маятника по выраженію $g = \pi^2\,.\,l/t^2$. Требуется

опредѣлить ошибку γ, входяшую въ g вслѣдствіе того, что l и t были опредѣлены съ погрѣшностями соотвѣтственно λ и τ. Вліянія обѣихъ этихъ ошибокъ могутъ быть разсмотрѣны совмѣстно. По ур. 2 и 8 стр. 27

$$g+\gamma=\pi^2\frac{l+\lambda}{(t+\tau)^2}=\pi^2\frac{l}{t^2}\frac{1+\lambda/l}{(1+\tau/t)^2}=g\frac{1+\lambda/l}{1+2\tau/t}=g\left(1+\frac{\lambda}{l}-2\frac{\tau}{t}\right)$$
$$=g+g\left(\frac{\lambda}{l}-2\frac{\tau}{t}\right).$$

Слѣдовательно, $\frac{\gamma}{g}=\frac{\lambda}{l}-2\frac{\tau}{t}$, т. е. относительная ошибка въ l входитъ просто, ошибка въ t вдвойнѣ.

Слѣдуетъ однако обратить вниманіе еще на слѣдующее. Для нахожденія максимальной ошибки въ g нельзя, какъ это можетъ показаться, судя по выраженію для $\frac{\gamma}{g}$, вычитать одинъ членъ изъ другого: неизвѣстно вѣдь, больше ли наблюдавшееся t, чѣмъ истинное, или меньше; въ послѣднемъ случаѣ слѣдовало бы измѣнить знакъ минусъ на обратный. При вычисленіи наибольшей возможной ошибки результата частичныя ошибки всегда складываются.

Въ заключеніе укажемъ еще на слѣдующее. Въ полное выраженіе, по которому вычисляется результатъ, входятъ обыкновенно кромѣ главныхъ величинъ еще поправки. При вычисленіи погрѣшности ихъ отбрасываютъ, если только не имѣютъ въ виду изслѣдовать собственно ихъ вліяніе.

5. Правила приближеннаго вычисленія надъ малыми величинами

Часто бываетъ возможнымъ привести математическое выраженіе, въ которомъ нѣкоторыя величины очень малы по сравненію съ другими, къ виду, болѣе удобному для вычисленія. Въ большинствѣ случаевъ проще всего придать сперва выраженію форму, содержащую поправочную величину лишь въ одномъ членѣ, прибавляющемся къ 1, если, конечно, эта форма не дана уже готовой. Послѣ этого часто оказывается возможнымъ примѣнить для упрощенія одну изъ слѣдующихъ формулъ.

Величины, обозначенныя черезъ δ, ϵ, ζ, ..., должны быть настолько малы по сравненію съ 1, чтобы можно было пренебречь по сравненію съ 1 какъ ихъ высшими степенями δ^2, ϵ^2,..., такъ и произведеніями ихъ $\delta\epsilon$, $\delta\zeta$, ..., которыя, понятно, очень малы по сравненію и съ самими δ, ϵ, ζ... Если, напримѣръ, $\delta=0{\cdot}001$, то $\delta^2=0{\cdot}000001$. Далѣе, если, напримѣръ, $\epsilon=0{\cdot}005$, то $\delta\epsilon=0{\cdot}000005$. Часто бываетъ, что нѣсколько тысячныхъ еще имѣютъ значеніе, милліонныя же, напротивъ, безразличны.

При этихъ условіяхъ имѣютъ мѣсто слѣдующія формулы, въ которыхъ выраженія вправо отъ знака равенства часто бываютъ удобнѣе для вычисленія. Формулы отъ 2 до 6 представляютъ частные случаи формулы 1.

Величина съ $\pm$ или $\mp$ берется въ формулѣ повсюду или съ верхнимъ знакомъ или съ нижнимъ.

1) $(1+\delta)^m = 1 + m\delta.$ $(1-\delta)^m = 1 - m\delta.$

2) $(1+\delta)^2 = 1 + 2\delta.$ $(1-\delta)^2 = 1 - 2\delta.$

3) $\sqrt{1+\delta} = 1 + \frac{1}{2}\delta.$ $\sqrt{1-\delta} = 1 - \frac{1}{2}\delta.$

4) $\frac{1}{1+\delta} = 1 - \delta.$ $\frac{1}{1-\delta} = 1 + \delta.$

5) $\frac{1}{(1+\delta)^2} = 1 - 2\delta.$ $\frac{1}{(1-\delta)^2} = 1 + 2\delta.$

6) $\frac{1}{\sqrt{1+\delta}} = 1 - \frac{1}{2}\delta.$ $\frac{1}{\sqrt{1-\delta}} = 1 + \frac{1}{2}\delta.$

7) $(1 \pm \delta)(1 \pm \epsilon)(1 \pm \zeta)\ldots = 1 \pm \delta \pm \epsilon \pm \zeta\ldots$

8) $\frac{(1 \pm \delta)(1 \pm \zeta)\ldots}{(1 \pm \epsilon)(1 \pm \eta)\ldots} = 1 \pm \delta \pm \zeta\ldots \mp \epsilon \mp \eta\ldots$

Дальше, вмѣсто средняго геометрическаго двухъ мало отличающихся величинъ p_1 и p_2 можно брать среднее ариѳметическое (доказательство: стр. 28):

9) $\sqrt{p_1 p_2} = \frac{1}{2}(p_1 + p_2).$

Далѣе $\sin(x+\delta) = \sin x + \delta \cos x,$ $\sin \delta = \delta,$

10) $\cos(x+\delta) = \cos x - \delta \sin x,$ $\cos \delta = 1,$

$\operatorname{tg}(x+\delta) = \operatorname{tg} x + \frac{\delta}{\cos^2 x},$ $\operatorname{tg} \delta = \delta.$

Единицей, для x и δ служитъ уголъ (57·3°), для котораго дуга равна радіусу.

Примѣры на примѣненіе смотри **4**, въ концѣ.

6. Поправки и ихъ вычисленіе

При точныхъ измѣреніяхъ наблюденія подлежатъ обыкновенно поправкамъ, нерѣдко занимающимъ большую часть физической работы; цѣлесообразное обращеніе съ ними является основой правильной и притомъ удобной работы. Сюда относятся прежде всего погрѣшности приборовъ, напримѣръ, въ масштабахъ, термометрахъ, часахъ, наборахъ разновѣсокъ; неравноплечность вѣсовъ; отклоненія отъ строгой пропорціальности между причиной и слѣдствіемъ, напримѣръ, при измѣреніяхъ по углу отклоненія; затѣмъ поправки, которыхъ требуетъ примѣненіе нѣкоторыхъ законовъ, напримѣръ, при магнитныхъ дѣйствіяхъ на разстояніи и т. п. Далѣе, побочныя вліянія, особенно атмосферныя, каковы: потеря тѣломъ вѣса въ воздухѣ, влажность воздуха, колебанія барометра, но прежде всего вліяніе температуры, простирающееся почти на всѣ свойства тѣлъ.

Если не обращать вниманія на эти обстоятельства, то получающійся непосредственный продуктъ работы окажется большей

частью гораздо ошибочнѣе, чѣмъ думаетъ наблюдатель. Но неизбѣжно, съ другой стороны, и нѣкоторое ограниченіе, такъ какъ иначе одно единственное измѣреніе, напримѣръ, длины маятника, электропроводности, даже просто массы, можетъ превратиться въ объемистую работу.

Такимъ образомъ прежде всего, еще до наблюденій, должно уяснить себѣ, какъ далеко должны идти поправки, что зависитъ отъ вопроса, насколько точно желаютъ или могутъ работать (см. **2**), чтобы не упустить ничего необходимаго и вмѣстѣ съ тѣмъ не записывать слишкомъ много лишняго. Напримѣръ, если при взвѣшиваніи твердой или жидкой массы не обращать вниманія на потерю вѣса въ воздухѣ, то вообще слѣдуетъ ограничиться точностью приблизительно въ 1/1000; если ошибка не должна превышать 1/10000, что представляетъ очень обыкновенное требованіе, достаточно внести среднюю поправку или воспользоваться таблицей, что дѣлается въ полминуты. 1/100000 требуетъ принятія въ разсчетъ температуры, барометрическаго давленія и неравноплечности вѣсовъ; при $1/10^6$ входитъ гигрометръ и поправки термометра и барометра. Точность въ $1/10^7$, т. е. 0·1 *мг* на 1 *кг*, составляетъ предметъ цѣлаго сочиненія о необходимыхъ для этого поправкахъ. Обыкновенно, впрочемъ, достаточна точность въ 1/10000; идти выше 1/100000 обыкновенно не позволяетъ несовершенство вѣсовъ. Этимъ въ каждомъ случаѣ заранѣе опредѣляется размѣръ необходимыхъ поправокъ.

Наконецъ, для упрощенія вычисленія поправокъ часто бываютъ пригодны пріемъ и приближенныя формулы, указанные въ **5**. Предварительное упражненіе въ такихъ вычисленіяхъ есть условіе точности и притомъ удобства работы.

Примѣры въ этой книгѣ, помимо двухъ слѣдующихъ, даютъ много матеріала для подобныхъ упражненій (между прочимъ **12, 16, 23, 25, 35, 75**).

1. Примѣръ. Если вѣсъ тѣла опредѣляется по способу двойного взвѣшиванія, причемъ на одной сторонѣ былъ найденъ вѣсъ p_1, на другой p_2, то, строго говоря, истинный вѣсъ $p = \sqrt{p_1 p_2}$. Но вмѣсто средняго геометрическаго можно взять среднее ариѳметическое $p = \frac{1}{2}(p_1 + p_2)$. Въ самомъ дѣлѣ, если написать $p_1 = p + \delta$, $p_2 = p - \delta$, что равносильно $p = \frac{1}{2}(p_1 + p_2)$, то будетъ:

$$\sqrt{p_1 p_2} = \sqrt{p^2 - \delta^2} = p\sqrt{1 - \frac{1}{2}\frac{\delta^2}{p^2}} = p\left(1 - \frac{1}{2}\frac{\delta^2}{p^2}\right) \text{ (формула 3 стр. 27).}$$

Вѣсы должны быть очень плохо вывѣрены, чтобы δ достигло величины $p/1000$. Въ этомъ случаѣ $\frac{1}{2}\delta^2/p^2$ равнялось бы одной полумилліонной, т. е. величинѣ, которая въ сравненіи съ 1 никоимъ образомъ не можетъ приниматься во вниманіе, когда взвѣшиваютъ на такихъ вѣсахъ.

2. Примѣръ. Въ **37**, при приведеніи барометра къ 0^0, расширеніе ртути разсматривается, какъ поправочная величина, причемъ принято, что $l/(1+0{\cdot}00018\,t)=l\,(1-0{\cdot}00018\,t)$ (формула 4, стр. 27). При этомъ пренебрегаютъ высшими степенями $0{\cdot}00018\,t$. Но очевидно, что, напримѣръ, при $t=30^0$ уже первая изъ нихъ достигаетъ только $0{\cdot}00003$, слѣдовательно, по умноженіи на $l=760$ *мм* даетъ лишь около $^1/_{45}$ *мм*, величину, которой здѣсь почти всегда пренебрегаютъ.

Напротивъ, было бы въ большинствѣ случаевъ непозволительно обращаться такъ же съ расширеніемъ газа, которое разъ въ двадцать больше.

7. Интерполированіе

Часто бываетъ затруднительно или прямо невозможно подобрать условія опыта, въ точности согласующіяся съ цѣлью изслѣдованія. Положимъ, напримѣръ, требуется получить результатъ (объемъ, плотность, проводимость и проч.) для совершенно опредѣленной температуры или подобрать сопротивленіе реостата такъ, чтобы стрѣлка гальванометра устанавливалась на опредѣленномъ дѣленіи, напримѣръ, какъ разъ на нулѣ, и т. п. Но въ точности осуществить и поддерживать вполнѣ опредѣленную температуру (если это не 0^0) трудно; сопротивленіе точныхъ реостатовъ вообще не поддается произвольной регулировкѣ, такъ какъ можетъ измѣняться лишь скачками.

Въ такихъ случаяхъ часто бываетъ возможно найти искомыя точныя условія путемъ интерполированія изъ наблюденій по сосѣдству. Пусть x_0 точка, на которой долженъ быть установленъ приборъ, и y_0 искомая величина, соотвѣтствующая значенію x_0. Положимъ, что вмѣсто этого сдѣланы два сосѣднихъ наблюденія: y_1 для x_1 и y_2 для x_2.

Если обѣ установки настолько близки другъ къ другу и къ x_0, что въ этихъ предѣлахъ измѣненіе y пропорціонально измѣненію x, то, очевидно,

$$(y_0-y_1):(x_0-x_1)=(y_2-y_1):(x_2-x_1),$$

откуда

$$y_0=y_1+(x_0-x_1)\frac{y_2-y_1}{x_2-x_1}.$$

Лучше всего брать x_1 и x_2 по разныя стороны отъ x_0.

Примѣры смотри, между прочимъ, въ **10** и **90**.

Если предположенной пропорціональности между приращеніями x и y нѣтъ, то для эмпирическаго интерполированія нужны, по крайней мѣрѣ, три сосѣднихъ наблюденія. Тогда примѣняется большей частью графическое интерполированіе (8).

8. Графическое представленіе наблюденій

Положимъ, что величина y наблюдалась при нѣсколькихъ значеніяхъ другой величины x, отъ которой она зависитъ; напримѣръ, чувствительность вѣсовъ при различныхъ нагрузкахъ, дѣленія шкалы спектроскопа, соотвѣтствующія извѣстнымъ длинамъ свѣтовыхъ волнъ, удѣльный вѣсъ или другое свойство раствора для нѣсколькихъ концентрацій его, или объемы, электродвижущія силы, растворимости, проводимости и т. п. при различныхъ температурахъ. Тогда, въ каждомъ случаѣ, чтобы получить возможно скорѣе наглядное представленіе о взаимной связи величинъ, а также ихъ закономѣрномъ измѣненіи, представляютъ ихъ геометрически, нанося на коо̂рдинатную бумагу x какъ абсциссы, y какъ ординаты. Нанесенныя точки соединяютъ кривой. Часто мы не знаемъ простого математическаго закона для зависимости одной величины отъ другой; тогда это графическое изображеніе одно только и даетъ представленіе о связи между ними.

Графическое сглаживаніе ошибокъ. Геометрическое представленіе измѣренныхъ значеній можетъ служить, какъ легко видѣть, для контроля или улучшенія наблюденій. Дѣйствительно, ошибки наблюденій обнаруживаются въ неправильностяхъ чертежа, но часто бываетъ возможнымъ прослѣдить правильный ходъ, несмотря на неправильности, и провести плавную кривую. Но пріемомъ этимъ должно пользоваться осторожно: онъ легко можетъ повести къ ошибкамъ, особенно на концахъ кривой.

9. Числовыя выкладки

Вычисленіе результата можетъ быть произведено лишь съ ограниченнымъ числомъ цифръ, что при большей части числовыхъ операцій дѣлаетъ невозможной полную точность. Впрочемъ, въ большинствѣ случаевъ послѣдняя была бы безцѣльной.

Вообще держитесь правила: сообщать результатъ съ такимъ числомъ цифръ, чтобы послѣдняя вслѣдствіе ошибокъ наблюденія не претендовала ни на какую точность, тогда какъ предпослѣдняя могла бы считаться уже

довольно вѣрной. Въ случаѣ сомнѣнія лучше брать одной цифрой больше, чѣмъ меньше.

Формально всѣ приведенныя цифры должны быть вѣрны. Отсюда слѣдуетъ, что, по крайней мѣрѣ, болѣе длинныя, напримѣръ, логариѳмическія вычисленія, при которыхъ на послѣдней цифрѣ можетъ постепенно накопиться вслѣдствіе отбрасыванія слѣдующихъ цифръ ошибка въ нѣсколько единицъ, слѣдуетъ вести съ одной десятичной больше, чѣмъ желательно привести въ результатѣ. Нули за послѣдней значащей цифрой и въ началѣ десятичной дроби не идутъ въ счетъ цифръ. Если отбрасываемая послѣдняя цифра больше 5-ти, то предпослѣдняя, какъ извѣстно, увеличивается на единицу.

Преувеличенно точныя вычисленія принадлежатъ къ числу обычнѣйшихъ ошибокъ. Положимъ, напримѣръ, что объемъ v прямоугольнаго тѣла опредѣляется изъ трехъ его измѣреній, найденныхъ равными приблизительно 10·5, 15·7, 30·9 *мм*. Привести точный численный результатъ $v = 5093{\cdot}865$ значитъ обнаружить отсутствіе критики. Въ самомъ дѣлѣ, ошибка измѣренія въ $^1/_{20}$ *мм* можетъ увеличить или уменьшить результатъ на 50 *мм*^{3}. Слѣдовательно, достаточно вычислить v равнымъ 5090 или, въ крайнемъ случаѣ, 5094, для чего производить умноженіе сокращенно или вычислять по четырехзначнымъ логариѳмамъ. Съ точностью около 0·1 процента можно работать и съ помощью обыкновенной счетной линейки. — Наоборотъ, часто находятъ частное съ слишкомъ малымъ числомъ цифръ: напримѣръ, опредѣляютъ удѣльный вѣсъ посредствомъ взвѣшиваній на чувствительныхъ вѣсахъ съ точностью до десятой *мг* и въ результатѣ вычисленій получаютъ 2·5, тогда какъ, можетъ быть, еще 4-ая десятичная была бы вѣрной.

9а. О растворахъ

Концентрація раствора выражается количествомъ вещества, растворeннаго или въ единицѣ растворителя или въ единицѣ (или 100 частяхъ и т. п.) самого раствора.

При послѣднемъ, гораздо болѣе употребительномъ и обыкновенно болѣе удобномъ опредѣленіи надо различать, считается ли количество раствора по вѣсу или по объему. Обычное выраженіе „p-процентный растворъ" подразумѣваетъ вѣсовыя отношенія, т. е. означаетъ, что 100 вѣсовыхъ частей раствора содержатъ p вѣсовыхъ частей вещества. — Число q, характеризующее концентрацію по объему, представляетъ обыкновенно число граммовъ вещества, раствореннаго въ 100 *см*^{3} (также въ 1 *см*^{3} или въ 1 литрѣ) раствора. Оба опредѣленія находятся въ соотношеніи

$$q = p s,$$

гдѣ s удѣльный вѣсъ раствора.

Въ случаѣ солей, удерживающихъ при кристаллизаціи воду, надо обращать вниманіе на то, подразумѣвается ли растворенное количество вмѣстѣ съ кристаллизаціонной водой или безъ нея.

Въ цѣляхъ аналитическихъ и теоретическихъ часто выражаютъ количество растворенннаго вещества не въ граммахъ, а въ граммъ-молекулахъ („Molen") или въ граммъ-эквивалентахъ. Тогда единица количества составляется изъ числа граммовъ, равнаго молекулярному или эквивалентному вѣсу растворенннаго вещества, опредѣляемому его химической формулой; согласно этому граммъ-молекула сѣрной кислоты образуется изъ $2+32+64=98$ *г*, а граммъ-эквивалентъ, въ виду ея двуосновности, изъ $\frac{1}{2}98=49$ *г*.

Подъ нормальнымъ растворомъ понимаютъ растворъ, содержащій 1 граммъ-эквивалентъ въ 1 литрѣ; напримѣръ 36·5 *г* соляной кислоты ($HCl=1+35{\cdot}5$), 40 *г* ѣдкаго натра ($NaOH=23+16+1$), 49 *г* сѣрной кислоты въ литрѣ раствора.

Содержаніе раствора опредѣляется по количествамъ отмѣренныхъ при его составленіи частей, причемъ для болѣе точныхъ цѣлей приводятъ вѣса къ пустотѣ (**13**), или химическимъ анализомъ, или выпариваніемъ, или изъ удѣльнаго вѣса раствора — по таблицамъ; см. табл. 3 и, о тепловомъ расширеніи, также табл. 12.

ВЗВѢШИВАНІЕ И ОПРЕДѢЛЕНІЕ ПЛОТНОСТИ

10. Вѣсы и взвѣшиваніе

Взвѣшиваніе производится для опредѣленія массы тѣла. За единицу массы[1]) принимается граммъ, масса кубическаго сантиметра воды при 4^0.

Точно такъ же, какъ массы, относятся между собою и силы притяженія, производимыя на эти массы землею, „вѣса въ пустомъ пространствѣ". Въ воздухѣ тѣло вслѣдствіе гидростатическаго выталкиванія теряетъ часть вѣса, равную вѣсу вытѣсненнаго воздуха. Такъ какъ твердыя и капельно-жидкія тѣла по меньшей мѣрѣ въ 600 разъ тяжелѣе воздуха, то здѣсь относительныя ошибки, происходящія отъ потери вѣса въ воздухѣ, не превосходятъ 1/600. О приведеніи взвѣшиванія къ пустотѣ см. **13**.

При обыкновенномъ взвѣшиваніи предполагаютъ, что плечи рычага, на который дѣйствуютъ тѣла и разновѣски, равны между собою. Ср. **12**.

Нижеслѣдующія правила обращенія съ вѣсами относятся къ тому типу вѣсовъ, который употребляется при химическомъ анализѣ.

I. Установка и испытаніе вѣсовъ

Лезвія и гнѣзда должны быть совершенно чисты. Съ нихъ удаляютъ пыль кисточкой или очищаютъ ихъ кожей. Маленькая пылинка или волокно могутъ испортить установки.

При помощи ножекъ-винтовъ устанавливаютъ вѣсы по отвѣсу или уровню; если при вѣсахъ нѣтъ соотвѣтствующаго приспособленія, то на основаніе вѣсовъ кладутъ круглый уровень или нивеллируютъ при помощи отвѣса, который держатъ параллельно арретированной стрѣлкѣ вѣсовъ.

Затѣмъ опускаютъ арретиръ, поправляютъ болѣе грубый перевѣсъ, если онъ окажется, и убѣждаются, что тогда вѣсы имѣютъ устойчивое положеніе равновѣсія. Если бы равновѣсіе оказалось неустойчивымъ (вѣсы „опрокидываются"), то подвинчиваютъ внизъ находящійся посрединѣ передвижной грузъ до тѣхъ поръ, пока этотъ недостатокъ не будетъ устраненъ.

---

[1]) То обстоятельство, что въ дѣйствительности граммъ есть масса немного (на 0·03 *мг*) бо́льшая, чѣмъ та, о которой говоритъ опредѣленіе, не принимается здѣсь во вниманіе.

Чувствительность вѣсовъ регулируется ввинчиванiемъ вверхъ или внизъ упомянутаго подвижного груза; о ней можно судить по перiоду колебанiя, ибо для однихъ и тѣхъ же вѣсовъ она пропорцiональна второй степени этого перiода. Перiодъ колебанiя при длинноплечихъ вѣсахъ слѣдуетъ подобрать въ предѣлахъ 10 — 15 *сек*, при коротких плечахъ въ 6 — 10 *сек.* Болѣе продолжительный перiодъ колебанiя ведетъ къ потерѣ времени, къ болѣе сильному затуханiю и, по большей части, къ неправильностямъ установки: все это дѣлаетъ безполезной повышенную чувствительность.

Затѣмъ съ помощью существующаго для этой цѣли приспособленiя (передвижной грузъ на концѣ коромысла; отверстiе, просверленное въ вертикальномъ передвижномъ грузѣ; вращающаяся рукоятка и т. п.) достигаютъ того, что ненагруженные вѣсы при качанiяхъ отклоняются одинаково въ обѣ стороны отъ средняго дѣленiя. Неравенство въ нѣсколько десятыхъ долей дѣленiя шкалы, которое съ теченiемъ времени можетъ опять появиться, слѣдуетъ исправлять установочными винтами, изъ коихъ одинъ укорачиваютъ, другой на столько же удлиняютъ.

Испытанiе вѣсовъ. Прежде всего слѣдуетъ требовать, чтобы вѣсы, при многократномъ арретированiи и освобожденiи давали одну и ту же установку, и чтобы колебанiя лишь медленно уменьшались. Ошибки могутъ происходить отъ того, что ослабнетъ какой-нибудь винтъ на коромыслѣ, или же отъ того, что призмы или гнѣзда нечисты, повреждены или имѣютъ неподходящую форму.

Равноплечность испытываютъ, помѣщая на обѣ чашки достаточно большiя разновѣски, уравновѣшивающiя другъ друга: взаимное ихъ перемѣщенiе не должно измѣнять установки. Объ измѣренiи неравноплечности см. 12.

Рейтеръ, помѣщенный на нулевомъ дѣленiи, не долженъ оказывать никакого дѣйствiя.

Нелишне испробовать, производитъ ли грузъ одно и тоже дѣйствiе независимо отъ того, на какое мѣсто чашки онъ помѣщенъ. Въ десятичныхъ вѣсахъ (съ платформой) и въ почтовыхъ вѣсахъ могутъ происходить отъ этой причины большiя погрѣшности; менѣе значительныя бываютъ и у обыкновенныхъ вѣсовъ, именно въ томъ случаѣ, если чашка виситъ на ребрѣ призмы безъ промежуточныхъ привѣсокъ: такой способъ привѣса чашки неправиленъ.

Шероховатости хода приспособленія, перемѣщающаго рейтеръ, а также арретира, исправляютъ, перетирая соотвѣтствующія части тряпочкой, смоченной слегка, если нужно, керосиномъ.

Удобно, чтобы разстояніе между дѣленіями шкалы при стрѣлкѣ равнялось примѣрно миллиметру. Для устраненія параллакса при отчетѣ остріе стрѣлки должно двигаться возможно ближе къ дѣленіямъ, прямо передъ ними или, лучше, надъ ними.

Употребленіе вѣсовъ. Столъ, на которомъ стоятъ вѣсы, долженъ быть предохраненъ отъ сотрясеній, исходящихъ отъ пола, а также отъ возможнаго прогиба при надавливаніи руками; кромѣ того, вѣсы слѣдуетъ охранять отъ неравномѣрнаго нагрѣванія. Накладывать разновѣски слѣдуетъ только при арретированныхъ вѣсахъ. Колебанія чашекъ изъ стороны въ сторону во время взвѣшиванія могутъ повести къ ошибкамъ.

При отвѣтственныхъ взвѣшиваніяхъ слѣдуетъ избѣгать воздушныхъ теченій, могущихъ произойти, напримѣръ, даже отъ незначительнаго нагрѣва взвѣшиваемаго тѣла. Футляръ вѣсовъ, разумѣется, долженъ быть закрытъ.

Взвѣшиваемое тѣло кладутъ обыкновенно налѣво; если же требуется отвѣсить опредѣленное количество нѣкотораго вещества, напримѣръ, жидкости или соли, то правая чашка по большей части оказывается удобнѣе.

II. Способъ взвѣшиванія

Для достиженія большей точности лучше наблюдать вѣсы въ колеблющемся состояніи, чѣмъ въ покоѣ. Разновѣски, уравновѣшивающія тѣло, находятъ постепеннымъ сближеніемъ предѣловъ (между которыми находится измѣряемый вѣсъ); если при этомъ пользоваться достаточно мелкими разновѣсками или рейтеромъ, то возможно добиться, чтобы качанія въ обѣ стороны отъ нулевой точки были одинаковыми.

Способъ интерполированія. Частому исправленію измѣняющейся со временемъ нулевой точки и кропотливому отыскиванію полнаго равенства часто слѣдуетъ предпочесть наблюденіе временно существующей нулевой точки и интерполяцію уравновѣшивающаго груза изъ двухъ установокъ при различныхъ нагрузкахъ.

Опредѣленіе нулевой точки, т. е. той точки шкалы, на которую указывала бы стрѣлка ненагруженныхъ вѣсовъ въ состояніи

покоя. Нулевую точку находятъ изъ нѣсколькихъ точекъ поворота качающейся стрѣлки. Размахъ колебаній можетъ заключаться въ предѣлахъ отъ 2 до 5 *мм.* Для достиженія умѣренной точности берутъ среднее изъ двухъ точекъ поворота или, при болѣе значительномъ затуханіи, изъ трехъ, причемъ сначала берутъ среднее изъ Nr. 1 и 3, а затѣмъ среднее изъ полученнаго числа и Nr. 2.

Когда требуется большая точность, замѣчаютъ, согласно съ нижеслѣдующей схемой, хотя бы пять точекъ поворота, берутъ среднее ариѳметическое изъ наблюденій по одну сторону, т. е. изъ Nr. 1, 3, 5, и изъ наблюденій по другую сторону, т. е. изъ Nr. 2 и 4, и изъ полученныхъ чиселъ снова берутъ среднее. Чтобы избѣжать необходимости различать отклоненія вправо и влѣво, — вѣдь дѣло идетъ здѣсь только о разностяхъ установокъ, — удобнѣе всего обозначить среднюю черту шкалы вѣсовъ не нулемъ, а числомъ 10.

Примѣръ.	Точки поворота			Среднее	Нулевая точка
влѣво	10·9	10·7	10·6	10·73	9·74
вправо	8·7	8·8		8·75	

Чтобы взять среднее изъ двухъ или трехъ мало различающихся чиселъ, нѣтъ надобности сначала все складывать и затѣмъ сумму дѣлить на 2 или на 3. Что среднее между 10·9, 10·7, 10·6 начинается на 10, само собою понятно. А что ·9, ·7, ·6 даютъ среднее ·73, тоже видно сразу. Нахожденіе средняго при нѣкоторомъ упражненіи столь же просто, какъ сложеніе и вычитаніе, и не подвержено никакимъ болѣе грубымъ ошибкамъ: преимущество, на которое слѣдуетъ обратить вниманіе.

Вмѣсто этого можно среднее дѣленіе принять за нуль и отклоненія считать въ одну сторону положительными, въ другую отрицательными, т. е. въ предыдущемъ примѣрѣ писать: $+0·9, -1·3, +0·7$ и т. д. Начинающій однако легче избѣгаетъ ошибокъ, пользуясь способомъ, указаннымъ выше.

Смотрѣть, не измѣнилась ли нулевая точка, слѣдуетъ почаще, а при болѣе значительныхъ нагрузкахъ вѣсовъ надо опредѣлять ее заново. Если окажутся измѣненія, то берутъ среднее изъ опредѣленій, предшествовавшихъ и слѣдовавшихъ за взвѣшиваніемъ.

Взвѣшиваніе. Послѣ того, какъ будетъ положено такое количество разновѣсокъ (или рейтеръ установленъ, наконецъ, на такое цѣлое дѣленіе шкалы), что установка близка къ нулевой точкѣ, снова дѣлаютъ по вышеуказанной схемѣ рядъ наблюденій точекъ поворота. Среднее будетъ уклоняться отъ нулевой точки на нѣкоторое число n дѣленій шкалы. Если извѣстна чувствительность

C вѣсовъ (**11**), т. е. отклоненіе подъ дѣйствіемъ добавочнаго груза въ 1 *мг*, то n/C будетъ величиною, которую слѣдуетъ добавить къ разновѣскамъ или отнять отъ нихъ, чтобы достигнуть полнаго равновѣсія.

Если чувствительность неизвѣстна, то снимаютъ или добавляютъ одинъ или нѣсколько *мг*, смотря по тому, были ли разновѣски слишкомъ тяжелы или легки: отъ этого установка переходитъ на другую сторону нулевой точки, наблюденія же дѣлаются попрежнему. Если первая установка была e_1, теперешняя e_2, а измѣненіе нагрузки равнялось π, то чувствительность $C=(e_1-e_2)/\pi$, и дальнѣйшее вычисленіе можно производить, какъ указано выше.

Иными словами, если было найдено

		нулевая точка	e_0
при нагрузкѣ	p_1	установка	e_1
" "	p_2	"	e_2,

то тѣло имѣетъ вѣсъ

$$p_0=p_1+(p_2-p_1)\frac{e_0-e_1}{e_2-e_1}.$$

Само собою разумѣется, что всѣ разности слѣдуетъ брать съ соотвѣтствующими знаками, причемъ для облегченія разсчета считать дѣленія шкалы возрастающими въ ту сторону, которая соотвѣтствуетъ увеличенію разновѣсокъ.

Примѣръ. Пусть нулевая точка имѣетъ прежнее значеніе 9·74. Послѣ наложенія тѣла наблюдалось

Нагрузка	Точки поворота	Среднее	Установка
3·036 *г*	7·8 7·8 7·9	7·83	9·04
	10·3 10·2	10·25	
3·038 *г*	9·6 9·4 9·3	9·43	10·86
	12·3 12·3	12·30	

Отклоненіе, приходящееся на 1 *мг*, равно $\frac{1}{2}$ 1·82 = 0·91 дѣленій шкалы.

Слѣдовательно, 3·036 *г* были легче искомаго вѣса на (9·74 — 9·04) / 0·91 = = 0·77 *мг*. То же самое получается по вышеприведенной формулѣ:

$$p_0 = 3{\cdot}036\ г + 2\,.\,(0{\cdot}70\ /\ 1{\cdot}82)\ мг = 3{\cdot}03677\ г.$$

Протоколъ измѣреній слѣдуетъ вести по опредѣленной схемѣ, напримѣръ, по указанной выше. — Слѣдуетъ обратить вниманіе также на то, что невѣрный отчетъ разновѣсокъ представляетъ собою очень обыкновенную ошибку; поэтому пересчитывать надо по меньшей мѣрѣ два раза.

11. Чувствительность вѣсовъ

Чувствительностью C вѣсовъ мы называемъ измѣненіе установки при перегрузкѣ чашки вѣсовъ на 1 *мг*. Опредѣленіе ея при различныхъ нагрузкахъ важно для сужденія о качествѣ вѣсовъ, а затѣмъ и для упрощенія способа взвѣшиванія. Именно, если мы имѣемъ таблицу или кривую, дающую отклоненіе подъ дѣйствіемъ 1 *мг*, какъ функцію нагрузки, то для каждаго взвѣшиванія, кромѣ нахожденія нулевой точки, достаточно будетъ одного лишь опредѣленія установки при приблизительно подходящемъ вѣсѣ (см. пред. стр.).

Пріемъ ясенъ самъ собою. На обѣ чашки кладутъ нагрузку, для которой хотятъ опредѣлить чувствительность, и на одну изъ чашекъ маленькій перевѣсъ, такъ чтобы установка на нѣсколько (2 — 3) дѣленій шкалы уклонялась отъ средней черты. Эта установка e тщательно наблюдается, согласно **10** II. Затѣмъ, перегрузивъ другую чашку π миллиграммами, вызываютъ приблизительно такое же отклоненіе въ другую сторону и наблюдаютъ установку e'; тогда чувствительность $C = (e - e')/\pi$.

Опредѣливъ C, примѣрно, для 0, 10, 20, ... *г*, наносятъ на координатную бумагу нагрузку, какъ абсциссу, чувствительность, какъ ординату; послѣ этого можно изъ кривой брать C для любой нагрузки или на основаніи кривой составить таблицу (**8**). Время отъ времени необходимо опредѣлять чувствительность заново.

Зависимость C отъ нагрузки опредѣляется взаимнымъ положеніемъ ребра средней призмы и обоихъ крайнихъ, а слѣдовательно и прогибомъ коромысла подъ дѣйствіемъ нагрузки.

12. Отношеніе плечъ коромысла

По закону рычага результатъ взвѣшиванія во столько разъ превосходитъ вѣсъ тѣла, во сколько разъ плечо на сторонѣ тѣла больше, чѣмъ на сторонѣ разновѣсокъ. Ошибка эта не играетъ большой роли по двумъ причинамъ. Во-первыхъ, при хорошихъ вѣсахъ она рѣдко достигаетъ 1/10000. Во-вторыхъ, по большей части, важны лишь о т н о ш е н і я вѣсовъ, напримѣръ, при всѣхъ вѣсовыхъ анализахъ, при опредѣленіяхъ плотности, удѣльныхъ теплотъ и т. д.; здѣсь ошибка совершенно отпадаетъ, если только пользоваться всегда однимъ и тѣмъ же плечомъ коромысла. Однако при тонкихъ абсолютныхъ взвѣшиваніяхъ нельзя полагаться на равноплечность.

Плечи рычага обратно пропорціональны тѣмъ грузамъ, которые при одновременномъ помѣщеніи на чашкахъ вѣсовъ устанавливаютъ вѣсы на нулевую точку (**10**). Если наборъ разновѣсокъ вѣ-

ренъ, и грузъ p_r на правомъ плечѣ R уравновѣшиваетъ грузъ p_l на лѣвомъ плечѣ L, то отношеніе плечъ

$$\frac{R}{L}=\frac{p_l}{p_r}.$$

Независимо отъ предположенія совершенной вѣрности набора разновѣсокъ опредѣляютъ это отношеніе слѣдующимъ образомъ.

Наблюдаютъ нулевую точку, кладутъ затѣмъ на обѣ чашки разновѣски одинаковаго наименованія, равныя примѣрно половинѣ предѣльной допустимой для вѣсовъ нагрузки, опредѣляютъ привѣсокъ, который необходимо положить налѣво или направо, чтобы привести установку къ нулевой точкѣ. Для точныхъ измѣреній слѣдуетъ примѣнять при этомъ интерполяціонный способъ (**10** II). Нулевую точку рекомендуется провѣрять достаточно часто, пользуясь ея среднимъ значеніемъ до и послѣ взвѣшиванія. Затѣмъ взаимно перемѣщаютъ разновѣски и поступаютъ попрежнему. Если обозначимъ оба груза, имѣющіе номинальное значеніе p, черезъ p_1 и p_2 и положимъ, что равновѣсіе было достигнуто, когда

при первомъ взвѣшиваніи	слѣва p_1+l	справа p_2
„ второмъ „	„ p_2	„ p_1+r,

то, обозначивъ длину лѣваго плеча черезъ L, праваго черезъ R, получимъ

$$\frac{L}{R}=1+\frac{l-r}{2p}.$$

Малый прибавокъ на одну сторону можно при этомъ разсматривать, какъ отрицательный прибавокъ на другую; см. примѣръ.

Доказательство. По закону рычага $L(p_1+l)=Rp_2$ и $Lp_2=R(p_1+r)$, откуда (согласно стр. 27, равенства 8 и 3)

$$\frac{R}{L}=\sqrt{\frac{p_1+l}{p_1+r}}=\sqrt{\frac{1+l/p_1}{1+r/p_1}}=1+\frac{l-r}{2p};$$

здѣсь окончательно написано p вмѣсто p_1.

Примѣръ.

слѣва	справа		
(50)	$(20+10+\cdots)$	$+0{\cdot}83$ мг, слѣдовательно	$l=-0{\cdot}83$
$(20+10+\cdots)$	(50)	$+2{\cdot}56$ „ „	$r=+2{\cdot}56$

$$\frac{R}{L}=1+\frac{-0{\cdot}83-2{\cdot}56}{100000}=1-0{\cdot}0000339$$

$$\text{или же } \frac{L}{R}=1{\cdot}0000339.$$

Цифры, заключенныя въ скобкахъ, обозначаютъ номинальный вѣсъ гирь въ граммахъ. Предыдущее измѣреніе приводитъ насъ также къ заключенію (**13**), что

$$(50) = (20 + 10 + \cdots) - 0{\cdot}86 \textit{ мг.}$$

Двойное взвѣшиваніе тѣла съ опредѣленіемъ нулевой точки также даетъ отношеніе плечъ; см. **13**, 1.

Съ измѣненіемъ нагрузки отношеніе плечъ можетъ нѣсколько измѣниться.

13. Абсолютное взвѣшиваніе тѣла

I. Исключеніе неравноплечности

Пока требуется только сравнивать между собою массы, достаточно, какъ уже было сказано выше, производить взвѣшиванія на одномъ и томъ же плечѣ однихъ и тѣхъ же вѣсовъ. Абсолютный же вѣсъ необходимо опредѣлять въ тѣхъ случаяхъ, когда, напримѣръ, при калиброваніи сосудовъ, при химическихъ титрованіяхъ, при приготовленіи растворовъ, требуется относить массы къ объемамъ или же, при вольтаметрическихъ измѣреніяхъ, — къ силамъ электрическаго тока и т. д.

Чтобы вывести абсолютный вѣсъ изъ кажущагося, найденнаго при взвѣшиваніи, послѣдній умножаютъ на отношеніе плечъ коромысла, взявъ числителемъ длину того плеча, на которое дѣйствовали разновѣски. Не прибѣгая къ этому отношенію, которое при особенно точныхъ взвѣшиваніяхъ даже нельзя считать неизмѣннымъ, можно достичь той же цѣли слѣдующими пріемами.

1. Двойное взвѣшиваніе. Сначала взвѣшиваютъ тѣло на лѣвой чашкѣ, затѣмъ на правой. Если p_1 и p_2 обозначаютъ для того и другого случая разновѣски, уравновѣшивающія тѣло, то искомый вѣсъ тѣла p представитъ собою среднее ариѳметическое

$$p = \frac{1}{2}(p_1 + p_2)\cdot$$

Опредѣлять нулевую точку вѣсовъ не нужно.

Доказательство см. **6**, примѣръ 1. Если p_1 и p_2 отнесены къ дѣйствительной нулевой точкѣ вѣсовъ, то одновременно получается отношеніе плечъ

$$\frac{R}{L} = \sqrt{\frac{p_2}{p_1}} = \sqrt{1 + \frac{p_2 - p_1}{p_1}} = 1 + \frac{p_2 - p_1}{2p_1}.$$

2. Способъ тарированія. Тѣло, положенное на чашку вѣсовъ, уравновѣшиваютъ, помѣщая на другую чашку какую-нибудь

нагрузку, — удобнѣе всего разновѣски другого набора, который не долженъ непремѣнно быть точнымъ; затѣмъ тѣло снимаютъ и замѣняютъ разновѣсками до прежней установки вѣсовъ. Разновѣски даютъ вѣсъ тѣла.

II. Приведеніе вѣса къ пустотѣ

Цѣль взвѣшиванія по большей части есть опредѣленіе массы тѣла, т. е. сравненіе ея съ извѣстной массой гирь, взятыхъ изъ набора разновѣсокъ. Допустимъ, что разновѣски представляютъ собою истинныя массы, т. е. что ихъ „граммъ" уравновѣсилъ бы въ пустотѣ 1 $см^3$ воды. Въ воздухѣ какъ тѣло, такъ и разновѣски претерпѣваютъ потерю вѣса, равную вѣсу вытѣсненнаго воздуха.

Если назовемъ

m кажущійся вѣсъ тѣла въ воздухѣ, т. е. разновѣски, уравновѣшивающія его въ воздухѣ,

λ плотность воздуха ($\lambda = 0{\cdot}00120$ въ среднемъ. См. также **18** и таблицу 6),

s плотность (удѣльный вѣсъ) тѣла,

σ плотность разновѣсокъ (латунь $= 8{\cdot}4$),

то вѣсъ тѣла въ пустотѣ

$$M = m\left(1 + \frac{\lambda}{s} - \frac{\lambda}{\sigma}\right).$$

Доказательство. Тѣло имѣетъ объемъ $V = \frac{M}{s}$, разновѣски $v = \frac{m}{\sigma}$. Потеря въ вѣсѣ равна вѣсу вытѣсненнаго воздуха; слѣдовательно, взвѣшиваемое тѣло теряетъ $\lambda V = \lambda M / s$, разновѣски $\lambda v = \lambda m / \sigma$. Такъ какъ вѣса, испытавшіе эти потери, оказались равными, то $M\left(1 - \frac{\lambda}{s}\right) = m\left(1 - \frac{\lambda}{\sigma}\right)$, откуда вышеприведенное значеніе M получается согласно формулѣ 8, стр. 27.

Итакъ, къ найденному кажущемуся вѣсу m слѣдуетъ придать $m\lambda\left(\frac{1}{s} - \frac{1}{\sigma}\right)$: поправка, возрастающая съ увеличеніемъ неравенства s и σ. Для λ почти всегда достаточно брать среднее 0·0012. Въ случаѣ латунныхъ разновѣсокъ можно при этомъ брать поправки изъ таблицы 1, гдѣ онѣ вычислены для различныхъ удѣльныхъ вѣсовъ s на основаніи формулы.

Примѣръ. Поправка кажущагося вѣса w нѣкотораго количества воды, при употребленіи латунныхъ разновѣсокъ ($\sigma = 8{\cdot}4$), составляетъ

$w \cdot 0{\cdot}0012\,(1/1 - 1/8{\cdot}4) = w \cdot 0{\cdot}00106$, т. е. 1·06 *мг* на каждый граммъ.

Даже въ тѣхъ случаяхъ, когда требуется знаніе не абсолютнаго вѣса,

а только вѣсовыхъ отношеній, какъ при химическихъ анализахъ, иногда потеря въ вѣсѣ требуетъ столь значительныхъ поправокъ, что пренебреженіе ими можетъ повести къ ошибкамъ, превышающимъ 0·1%. Однако потерей въ вѣсѣ разновѣсокъ слѣдуетъ и здѣсь пренебрегать.

14. Таблица поправокъ для набора разновѣсокъ

На правильность набора разновѣсокъ нельзя полагаться уже потому, что разновѣски измѣняются отъ употребленія.

Вообще задача опредѣленія ошибокъ набора разновѣсокъ сводится къ тому, что производятъ столько взвѣшиваній, сколько разновѣсокъ подлежатъ провѣркѣ, и составляютъ по этимъ даннымъ столько же уравненій; изъ этихъ уравненій выводится отношеніе плечъ коромысла и отношеніе разновѣсокъ другъ къ другу.

При наборѣ разновѣсокъ обычнаго типа поступаютъ согласно нижеслѣдующей схемѣ. Обозначимъ большія разновѣски такъ:

$$50' \; 20' \; 10' \; 10'' \; 5' \; 2' \; 1' \; 1'' \; 1'''.$$

Производятъ двойное взвѣшиваніе, положивъ $50'$ на одну чашку, а сумму остальныхъ разновѣсокъ на другую. Пусть вѣсы оказались въ равновѣсіи (т. е. стрѣлка ихъ установилась такъ же, какъ и при пустыхъ вѣсахъ), когда было

слѣва	справа
$50'$	$20' + 10' + \ldots + r$ *мг*
$20' + 10' + \ldots + l$ *мг*	$50'$.

Въ такомъ случаѣ отношеніе плечъ (**12**)

$$R/L = 1 + (l - r)/100000$$

и

$$50' = 20' + 10' + \ldots + \frac{1}{2}(r + l).$$

Затѣмъ сравниваютъ $20'$ съ $10' + 10''$, а $10'$ съ $10''$ и съ $5' + 2' + \ldots$. Двойное взвѣшиваніе оказывается и въ этихъ случаяхъ болѣе надежнымъ, ибо отношеніе плечъ, вообще говоря, нѣсколько зависитъ отъ нагрузки. Имѣя же дѣло съ хорошими вѣсами, можно найденное выше значеніе считать справедливымъ вообще и производить только одностороннее сравненіе. Тогда разновѣска p, положенная на правую чашку, приведенная къ длинѣ лѣваго плеча, будетъ значить $p \, . \, R/L$.

Примѣръ. Пусть $r = -0{\cdot}63$, $l = +2{\cdot}73$ *мг*, тогда

$$50' = 20' + 10' + \ldots + 1{\cdot}05 \text{ мг} \quad \text{и} \quad R/L = 1{\cdot}000034.$$

Далѣе, пусть при сравненіи 5 *г*-разновѣски съ суммой маленькихъ разновѣсокъ найдено, что вѣсы устанавливаются, когда

слѣва $5' + 0{\cdot}06$ *мг* справа $2' + 1' + 1'' + 1'''$;

въ такомъ случаѣ на равноплечихъ вѣсахъ были бы въ равновѣсіи $5' + 0{\cdot}06$ *мг* и $(2' + 1' + \ldots) \times 1{\cdot}000034$ или $2' + 1' + \ldots + 0{\cdot}17$ *мг*.

Слѣдовательно,

$$5' = 2' + 1' + 1'' + 1''' + 0{\cdot}11 \text{ мг}.$$

Пусть всѣ эти взвѣшиванія привели къ слѣдующему результату (примѣрныя числа миллиграммовъ соотвѣтствуютъ найденнымъ разницамъ А, В и т. д.):

$$\begin{aligned} 50' &= 20' + 10' + \ldots + A && + 0{\cdot}48 \text{ мг} \\ 20' &= 10' + 10'' \quad + B && + {\cdot}06 \text{ „} \\ 10'' &= 10' \quad + C && + {\cdot}17 \text{ „} \\ 5' + 2' + 1' + 1'' + 1''' &= 10' \quad + D. && + {\cdot}29 \text{ „} \end{aligned}$$

Здѣсь A, B, C, D, конечно, могутъ быть положительны или отрицательны. Изъ этихъ уравненій нужно выразить въ какой-нибудь единицѣ значеніе пяти разновѣсокъ, принимая пока сумму малыхъ разновѣсокъ за одну гирю. Если одновременно не производятъ сравненія съ нормальной гирей, то эту единицу выбираютъ такъ, чтобы поправки отдѣльныхъ разновѣсокъ были возможно малыми, а это будетъ въ томъ случаѣ, если допустить, что вся сумма вѣрна, т. е. положить

$$50' + 20' + 10' + \ldots = 100 \text{ г}.$$

Обозначивъ теперь для краткости

$$S = \frac{1}{10}(A + 2\,B + 4\,C + 2\,D), \qquad + 0{\cdot}070 \text{ мг}$$

найдемъ слѣдующія равенства, справедливость которыхъ легко доказать:

$$\begin{aligned} 10' &= 10 \text{ г} - S && - 0{\cdot}07 \text{ мг} \\ 10'' &= 10 \text{ „} - S + C && + {\cdot}10 \text{ „} \\ 5' + \ldots &= 10 \text{ „} - S + D && - {\cdot}36 \text{ „} \\ 20' &= 20 \text{ „} - 2S + B + C && + {\cdot}09 \text{ „} \\ 50' &= 50 \text{ „} - 5S + A + B + 2C + D = 50 \text{ г} + \tfrac{1}{2}A. && + {\cdot}24 \text{ „} \end{aligned}$$

Провѣрка вычисленій основывается на томъ, что сумма всѣхъ поправокъ, выраженныхъ численно, должна равняться нулю, и что должны удовлетворяться четыре равенства, найденныя изъ наблюденія.

Далѣе, пусть при сравненіи разновѣсокъ 5′, 2′, 1′, 1″ и 1‴ между собою найдено

$$5' = 2' + 1' + 1'' + 1''' + a \qquad +0{\cdot}54 \text{ мг}$$
$$2' = 1' + 1'' \qquad + b \qquad + {\cdot}02 \text{ „}$$
$$1'' = 1' \qquad + c \qquad - {\cdot}10 \text{ „}$$
$$1''' = 1' \qquad + d. \qquad - {\cdot}13 \text{ „}$$

Положивъ теперь для краткости

$$s = \frac{1}{10}(a + 2b + 4c + 2d + S - D), \qquad +0{\cdot}028 \text{ мг}$$

получимъ подобно тому, какъ выше,

$$1' = 1\ г - s \qquad -0{\cdot}03 \text{ мг}$$
$$1'' = 1\ „ - s + c \qquad - {\cdot}13 \text{ „}$$
$$1''' = 1\ „ - s + d \qquad - {\cdot}16 \text{ „}$$
$$2' = 2\ „ - 2s + b + c \qquad - {\cdot}14 \text{ „}$$
$$5' = 5\ „ - 5s + a + b + 2c + d. \qquad + {\cdot}09 \text{ „}$$

Точно такъ же поступаютъ и съ меньшими разновѣсками.

Слѣдуя правилу — всегда составлять

вѣса

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 и т. д. *г*,

изъ разновѣсокъ

1′ 2′ 2′+1′ 2′+1′+1″ 5′ 5′+1′ 5′+2′ 5′+2′+1′ 5′+2′+1′+1″ 10′ и т. д.

— можно тотчасъ же для каждой цифры каждаго десятка найти соотвѣтствующую поправку: такъ, въ предыдущемъ примѣрѣ поправки, въ сотыхъ доляхъ *мг*, будутъ

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
десятки	−7	+9	+2	+12	+24	+17	+33	+26	+36
единицы	−3	−14	−17	−30	+9	+6	−5	−8	−21
	и т. д. для сотенъ, тысячъ граммовъ.								

До сихъ поръ мы принимали, что сумма всѣхъ большихъ разновѣсокъ вѣрна; для большинства работъ (химическій анализъ, удѣльный вѣсъ), требующихъ лишь относительныхъ взвѣшиваній, этого допущенія достаточно. Если же требуется привести таблицу поправокъ къ точному граммовому разновѣсу, то необходимо сравнить разновѣски, или одну изъ нихъ, съ нормальнымъ разновѣсомъ (**13**). Способъ разсчета подобенъ вышеуказанному.

Легко составить планъ провѣрки набора разновѣсокъ иного сочетанія.

Для отличія разновѣсокъ одного и того же наименованія цифры должны быть выбиты на нихъ различно или снабжены индексомъ; иначе приходится отыскивать случайныя отличія. При пластинчатыхъ разновѣскахъ помогаютъ дѣлу тѣмъ, что загибаютъ неодинаковые углы. — Относительно самаго взвѣшиванія см. **10**; наблюденіе нулевой точки слѣдуетъ повторять почаще.

15. Плотность; удѣльный вѣсъ. Способы опредѣленія

Плотностью или удѣльной массой s тѣла (см. таблицы 2 и 3) называютъ массу (*г*), заключенную въ единицѣ объема ($cм^3$) тѣла, другими словами, массу тѣла, дѣленную на объемъ. Вода при 4^0 имѣетъ, слѣдовательно, плотность единицу, ибо въ 1 $cм^3$ содержитъ 1 *г*. Число s можетъ быть также поэтому представлено, какъ отношеніе массы тѣла къ массѣ такого же объема воды при 4^0; вмѣсто отношенія массъ можно говорить также объ отношеніи вѣсовъ въ пустомъ пространствѣ.

Выраженіе „удѣльный вѣсъ" означаетъ вѣсъ тѣла, заключающійся въ единицѣ объема, т. е. то же число, что и плотность, если единицей вѣса служитъ граммъ-вѣсъ. Когда послѣднее обстоятельство разумѣется само собою, то между этими двумя выраженіями совершенно не дѣлаютъ различія.

При точномъ указаніи плотности необходимо, вслѣдствіе теплового расширенія, указывать ту температуру t тѣла, къ которой плотность относится; проще всего сдѣлать это съ помощью обозначенія s_t.

Въ болѣе старыхъ данныхъ часто бываетъ положена въ основу и принята за единицу вода не при 4^0, а при нѣкоторой другой температурѣ Θ (напримѣръ, при 15^0 или 18^0). Обозначая черезъ t температуру тѣла, изображаютъ въ этомъ случаѣ плотность символомъ $s_{t/\Theta}$. Особенно часто приходится встрѣчать, что водные растворы отнесены къ водѣ при той же температурѣ, какъ и растворъ. Символъ $s_{18/18}$ обозначаетъ въ этомъ случаѣ, слѣдовательно, что и растворъ и вода взяты при 18^0.— Опредѣленіе „масса или вѣсъ въ единицѣ объема" оказывается здѣсь, строго говоря, не вполнѣ подходящимъ.

Чтобы удѣльный вѣсъ s, „отнесенный къ водѣ при температурѣ Θ", привести къ водѣ при 4^0, надо умножить s на плотность Q воды при температурѣ Θ (таблица 4; $Q < 1$). Ср. также **16**.

Удѣльнымъ объемомъ называютъ величину, обратную плотности, т. е. объемъ единицы массы вещества. Молекулярнымъ объемомъ называется произведеніе изъ молекулярнаго вѣса на плотность: это есть, слѣдовательно, выраженный въ кубическихъ сантиметрахъ объемъ граммъ-молекулы („Mol"), т. е. объемъ массы тѣла, содержащей число граммовъ, равное молекулярному вѣсу тѣла. Аналогичное значеніе имѣютъ „эквивалентный" и „атомный" объемы.

Первоначально мы опишемъ способы опредѣленія и дадимъ правила для вычисленій такъ, какъ будто взвѣшиванія производятся въ пустотѣ, и вода берется при 4^0; о необходимыхъ поправкахъ см. **16**.

A. Для жидкостей

1. Калибрированный сосудъ (мѣрительная колба, пипетка, мензурка, бюретка). Ср. **23**

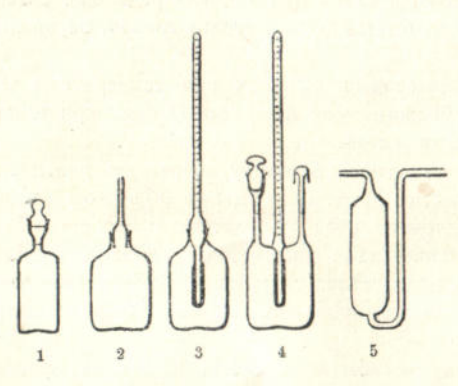
Если масса равна m граммамъ, объемъ v кубическимъ сантиметрамъ, то по опредѣленію плотность $s = m/v$.

Напримѣръ, съ помощью мѣрительной колбы находятъ вѣсъ опредѣленнаго обьема, какъ разность вѣсовъ пустой и наполненной колбы. Для приблизительныхъ опредѣленій часто можно пользоваться и пипеткой. Если вытекающее количество не вполнѣ опредѣленно, то пипетку, на которой намѣченъ ея объемъ въ сухомъ видѣ, первоначально взвѣшиваютъ сухою вмѣстѣ съ колбочкой, а затѣмъ наполняютъ пипетку и содержимое ея, выпущенное въ колбочку, снова взвѣшиваютъ вмѣстѣ съ колбочкой и пипеткой.

При употребленіи раздѣленнаго цилиндра (бюретки и т. п.) по большей части опредѣляютъ вѣсъ вылитаго или вытекшаго количества и при разсчетѣ пользуются указанными на приборѣ объемами.

2. Пикнометръ

Отвѣшиваютъ, вычитая вѣсъ пустого сосуда, количество жидкости m и количество воды w, вмѣщающіяся въ одномъ и томъ же сосудѣ. Тогда $s = m/w$. Обыкновенная колбочка, наполненная до краевъ или до черты на горлышкѣ, легко даетъ третій десятичный знакъ. Болѣе точные результаты даютъ постоянные сосуды, называемые пикнометрами, тарирными склянками (рис.). Наполняются они совсѣмъ или до извѣстной мѣтки; наиболѣе точны четвертая и пятая формы, у которыхъ одно отверстіе служитъ для впусканія жидкости, другое для выпусканія или отсасыванія воздуха. Nr. 1 наполняютъ посредствомъ длинной тонкой воронки, опоражниваютъ



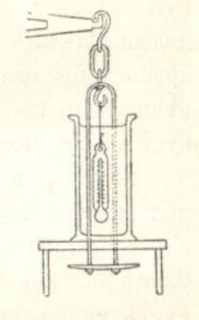
такого же рода пипеткой, или же выливаютъ жидкость, вводя стеклянную трубочку для впуска воздуха.

Если располагаютъ лишь нѣсколькими каплями жидкости, то приходится примѣнять совсѣмъ маленькія колбочки, употребляемыя при опредѣленіи плотности паровъ (**19** B). — Nr. 5 (Шпренгель-Оствальдъ) привѣшивается къ вѣсамъ на проволокѣ. Знаніе температуры достигается здѣсь и, въ случаѣ надобности, при употребленіи Nr. 1, съ помощью ванны съ постоянной температурой, гдѣ пикнометръ долженъ однако находиться достаточно долго. О наполненіи и опредѣленіи температуры Nr. 2 см. **B** 2.

Предварительное споласкиваніе сосуда новой жидкостью оказывается по большей части удобнѣе, чѣмъ высушиваніе сосуда передъ наливаніемъ новой жидкости.

3. Способъ гидростатическаго взвѣшиванія

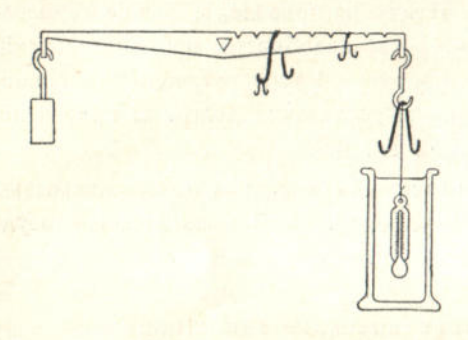
Одно и то же тѣло (стеклянное грузило), привѣшенное къ вѣсамъ на ниткѣ или проволокѣ, взвѣшиваютъ въ воздухѣ (p_l), въ жидкости (p_f) и въ водѣ (p_w). Если потеря въ вѣсѣ составляетъ въ жидкости $m = p_l - p_f$, въ водѣ $w = p_l - p_w$, то опять $s = m / w$. Ибо если v означаетъ объемъ грузила, то по закону Архимеда потеря въ вѣсѣ равна каждый разъ вѣсу вытѣсненной жидкости, т. е. $m = v \,.\, s$ и $w = v \,.\, 1$. Поправки указаны въ **16.**



Для подвѣшиванія служитъ либо укороченная чашка вѣсовъ съ крючкомъ, либо (рис.) крючокъ въ дугѣ чашки вѣсовъ; въ послѣднемъ случаѣ жидкость помѣщается на столикѣ надъ чашкой вѣсовъ. Ушко грузила должно быть погружено ц ѣ л и к о м ъ. Источникомъ ошибки по большей части является треніе на поверхности, а также неравномѣрное смачиваніе подвѣшивающей нити, могущее значительно колебаться при употребленіи металлическихъ проволокъ, въ особенности въ случаѣ воды; платиновая проволока, платинированная и затѣмъ прокаленная, уменьшаетъ ошибку. — Удобно употреблять въ качествѣ грузила короткій толстый термометръ. Вычисленіе облегчается, если гидростатическое выталкиваніе тѣла w для воды при 4^0 представляется круглымъ числомъ, напримѣръ, 10 *г* или 30 *г*.

Слѣдуетъ смотрѣть, чтобы въ ушкѣ, служащемъ для подвѣшиванія грузила, не застрялъ пузырекъ воздуха!

Вѣсы Мора. Стеклянное грузило подвѣшивается на тонкой проволокѣ къ раздѣленному на 10 частей плечу коромысла вѣсовъ и уравновѣшивается. Въ водѣ грузило теряетъ столько, сколько вѣситъ наибольшій рейтеръ; остальные рейтеры соотвѣтственно въ 10, 100 и 1000 разъ легче. Дѣленія коромысла, на которыя должны быть помѣщены рейтеры, чтобы компенсировать потерю въ вѣсѣ погруженнаго въ жидкость (цѣликомъ) грузила, непосредственно даютъ отдѣльные десятичные знаки удѣльнаго вѣса: напримѣръ, на рисункѣ 1·373.



Испытаніе вѣсовъ Мора. 1) Вѣса рейтеровъ должны относиться между собою, какъ 1 : 10 и т. д.; 2) дѣленія коромысла должны дѣлить горизонтальное разстояніе между ребрами средней и крайней призмы на 10 равныхъ частей. Чтобы испытать это, подвѣшиваютъ къ другому плечу коромысла маленькую уравновѣшенную чашку, помѣщаютъ наибольшій рейтеръ на дѣленія 1, 2 и т. д. и смотрятъ, относятся ли между собою соотвѣтствующіе грузы, положенные на чашку, какъ 1, 2 и т. д.; 3) вѣсы должны давать для воды при температурѣ t ту плотность, какая указана въ таблицѣ 4. Если вѣсы даютъ Q' вмѣсто Q, то всѣ ихъ показанія слѣдуетъ умножать на Q/Q'. Хорошіе Моровскіе вѣсы, при употребленіи тонкой платиновой проволоки (см. выше) могутъ давать до нѣкоторой степени правильно даже 4-ый десятичный знакъ.

4. Ареометры съ нагрузкой; методъ плаванія

Пусть плавающее тѣло вѣситъ P граммовъ и для того, чтобы плавать, погрузившись до опредѣленнаго объема, требуетъ нагрузки p граммовъ въ водѣ и p' граммовъ въ какой-нибудь другой жидкости. Тогда послѣдняя, очевидно, имѣетъ удѣльный вѣсъ $s = \frac{P + p'}{P + p}$. Приборъ, носившій прежде названіе „Никольсоновскихъ погружающихся вѣ-

совъ", заставляютъ каждый разъ погружаться до одной и той же мѣтки на шейкѣ.

Различіе, существующее здѣсь вслѣдствіе капиллярности, избѣгается при употребленіи поплавковъ, которые заставляютъ, посредствомъ наложенія грузовъ, плавать совершенно подъ поверхностью жидкости. Отъ этихъ грузовъ (удѣльный вѣсъ $= \sigma$) слѣдуетъ при вычисленіи отнимать ихъ гидростатическую потерю p/σ въ водѣ, или $p's/\sigma$ въ другой жидкости, принимая для s приближенное значеніе.

5. Ареометръ со шкалой; погружающіеся вѣсы

Плавающее тѣло погружается въ жидкость настолько, чтобы вѣсъ вытѣсненной жидкости какъ разъ равнялся вѣсу тѣла. Слѣдовательно, чѣмъ плотнѣе жидкость, тѣмъ менѣе глубоко тѣло въ нее погружается. — Центръ тяжести ареометра долженъ лежать настолько низко, чтобы стержень при плаваніи оставался вертикальнымъ.

Дѣленіе, до котораго стержень погружается, даетъ или плотность, или величину, ей обратную — удѣльный объемъ, или крѣпость опредѣленнаго раствора, или, наконецъ, такъ называемые „градусы плотности".

Напримѣръ, у Боме́ обозначаютъ	0^0	13^0	24^0	34^0	42^0	49^0 и т. д.
удѣльный вѣсъ	1·0	1·1	1·2	1·3	1·4	1·5

Отчетъ ареометра производится по поверхности жидкости **сквозь самую жидкость**; при этомъ глазъ располагаютъ такъ, что плоскость, касательная къ поверхности жидкости, кажется линіей. Ареометръ въ водѣ при температурѣ t долженъ показывать число, которое въ таблицѣ 4 соотвѣтствуетъ t. Другія точки шкалы провѣряютъ съ помощью жидкостей, удѣльный вѣсъ которыхъ извѣстенъ изъ другихъ опредѣленій.

6. Гидрометръ

Высоты двухъ столбовъ жидкостей, уравновѣшивающихся въ сообщающихся трубкахъ, обратно пропорціональны плотностямъ.

Выводъ содержанія раствора изъ его удѣльнаго вѣса.

Для этого обращаются къ таблицѣ (для водныхъ растворовъ, напримѣръ, таблица 3 или особые сборники таблицъ); предварительно слѣдуетъ привести удѣльный вѣсъ къ той температурѣ, для которой справедлива таблица (см. таблицу 12); таблица можетъ быть отнесена къ водѣ не при 4^0: это обстоятельство также слѣдуетъ принять во вниманіе; см. объ этомъ стр. 45 и **44** III.

B. Для твердыхъ тѣлъ

Пристающіе къ тѣламъ пузырьки воздуха слѣдуетъ удалять: болѣе крупные — повторнымъ выниманіемъ или посредствомъ кисточки, мелкіе — встряхиваніемъ или кипяченіемъ, или же при помощи воздушнаго насоса.

1. Взвѣшиваніе и измѣреніе объема

Если m граммовъ тѣла занимаютъ объемъ v кубическихъ сантиметровъ, то плотность $s = m/v$. Измѣреніе объема при правильной формѣ тѣла можно произвести съ помощью мѣрительной линейки; ср. также **21** II. Цилиндръ (проволока) длины l, радіуса r имѣетъ объемъ $\pi r^2 l$, шаръ $\frac{4}{3} \pi r^3$ и т. д.

Въ случаѣ тѣла неправильной формы можно измѣрить тотъ объемъ, на который повышается жидкость въ калибрированномъ сосудѣ при погруженіи тѣла. Въ особенности легко примѣнимъ этотъ способъ къ измельченнымъ тѣламъ. Для веществъ, растворимыхъ въ водѣ, берутъ, напримѣръ, спиртъ, керосинъ, толуолъ или насыщенный растворъ вещества. Можно также опредѣлить объемъ, вводя тѣло въ совершенно наполненный сосудъ съ правильно дѣйствующимъ отливомъ и взвѣшивая вытекающее при этомъ количество жидкости.

2. Пикнометръ (см. Nr. 2 и 3 на рисункѣ стр. 46)

Пусть пикнометръ съ водою вѣситъ P, съ водою и тѣломъ P', между тѣмъ какъ самое тѣло вѣситъ m. Тогда вытѣсненное количество воды $w = P + m - P'$, и $s = m/w$. Въ особенности примѣнимъ этотъ способъ къ маленькимъ тѣламъ, но тогда слѣдуетъ брать и возможно маленькія склянки.

Если температура при первомъ и второмъ наполненіи различна (ср. **16**), то результатъ, получившійся при наполненіи только водою (температура $= t$) слѣдуетъ перечислить, приведя къ другой температурѣ t'. Что касается расширенія воды, то поправка производится прибавленіемъ $W.(Q' - Q)$, гдѣ Q и Q' обозначаютъ плотности воды при температурахъ t и t' (таблица 4), а W вѣсъ воды, заполняющей пикнометръ (вѣсъ этотъ при вычисленіи поправки достаточно знать

лишь приблизительно); для поправки же на расширеніе стекла прибавляютъ $W \cdot 3\beta(t'-t)$, гдѣ 3β коэффиціентъ кубическаго расширенія стекла.

Если пикнометръ не снабженъ термометромъ, то либо берутъ температуру колбы, изъ которой вода была налита, либо наливаютъ сначала лишь столько жидкости, чтобы можно было ввести маленькій термометръ. Затѣмъ пополняютъ небольшой недостатокъ и быстро вставляютъ пробку (Nr. 2, стр. 46), едва замѣтно намазанную саломъ, изъ которой предварительно удаляютъ воду продуваніемъ. Если толщина стѣнокъ пробки достаточна, то капилляръ заполняется жидкостью; брызнувшую наружу жидкость тотчасъ же вытираютъ и въ случаѣ надобности отбираютъ воду до мѣтки остро свернутой пропускной бумагой. Послѣдующія измѣненія температуры безразличны, если только они не ведутъ къ вытеканію жидкости. Жидкость, слѣдовательно, не должна быть холоднѣе воздуха въ комнатѣ.

3. Гидростатическій способъ

Если тѣло въ воздухѣ вѣситъ m, подъ водою p, и, стало быть, потеря въ вѣсѣ $w = m - p$, то плотность $s = m/w$.

Измѣреніе съ помощью вѣсовъ. Взвѣшиваютъ тѣло въ воздухѣ (m); затѣмъ, подвѣсивъ его къ одной изъ чашекъ вѣсовъ (ср. **A** 3) на тонкой, свободной отъ жира нити или проволокѣ, находятъ его вѣсъ подъ водою (p'). Вычитая изъ p' отдѣльно опредѣленный вѣсъ проволоки, получаютъ p. Изъ вычисляемой отсюда потери въ вѣсѣ слѣдуетъ въ случаѣ надобности вычесть потерю въ вѣсѣ проволоки; послѣднюю потерю легко можно оцѣнить, вычисливъ вѣсъ погруженной части проволоки изъ отношенія погруженной части ко всей длинѣ; раздѣливъ полученный вѣсъ на плотность проволоки (таблица 2), получимъ ея потерю въ водѣ. — Если проволока или корзиночка, въ которую кладутъ тѣло при взвѣшиваніи, заранѣе подвѣшена такъ, чтобы всегда погружаться одинаково, то достаточно разъ на всегда тарировать ее и въ дальнѣйшемъ не принимать въ расчетъ.

При взвѣшиваніи въ водѣ качанія вѣсовъ быстро убываютъ; по большей части приходится поэтому производить отчетъ вѣсовъ въ состояніи покоя. — Нить для подвѣшиванія должна быть тонка и

должна пересѣкать поверхность жидкости только одинъ разъ, чтобы капиллярныя силы были по возможности меньше; ср. также **А** 3.

Вода должна имѣть температуру, близкую къ комнатной; въ противномъ случаѣ слѣдуетъ примѣнять особенно защищенные сосуды. Когда наблюденіе производится въ закрытомъ ящикѣ вѣсовъ, то удобенъ термометръ указанной здѣсь формы.

Растворимыя въ водѣ тѣла взвѣшиваютъ въ другой жидкости, плотность которой извѣстна. На эту послѣднюю нужно помножить результататъ, вычисленный, какъ указано выше.

Тѣла съ малымъ удѣльнымъ вѣсомъ заставляютъ погружаться, связывая ихъ съ достаточно тяжелымъ тѣломъ, напримѣръ, съ металлическимъ зажимомъ, или помѣщая ихъ въ колоколъ изъ проволочной сѣтки, въ которомъ тѣло всплываетъ. Балластное тѣло при всѣхъ взвѣшиваніяхъ можетъ оставаться въ водѣ.

Сыпучія тѣла кладутъ въ чашечку, которую все время держатъ подъ водою, уравновѣсивъ тарой.

Если нельзя подвѣсить тѣло къ чашкѣ вѣсовъ, то иногда оказывается возможнымъ поставить на вѣсы сосудъ съ водой и опредѣлять его прибыль въ вѣсѣ при погруженіи въ него тѣла, привѣшеннаго на нити къ неподвижному штативу. Эта прибыль равна кажущейся потерѣ въ вѣсѣ тѣла въ водѣ.

Ареометръ Никольсона. Нагружаютъ верхнюю чашку поплавка, заставляя ее каждый разъ погружаться до мѣтки на шейкѣ: 1) только разновѣсками (P), 2) тѣломъ и разновѣсками (P'), 3) разновѣсками, причемъ тѣло лежитъ на нижней чашкѣ подъ водою (P''). Тогда $P - P' = m$ даетъ вѣсъ тѣла, $P'' - P' = w$ вѣсъ вытѣсненной воды и m/w опять-таки плотность тѣла. Колебанія температуры вліяютъ на точность тѣмъ болѣе, чѣмъ меньше тѣло сравнительно съ ареометромъ. — Установка надежнѣе, если очищать шейку спиртомъ.

Пружинные вѣсы Жоли. Къ спиральной проволокѣ привѣшены, одна подъ другой, двѣ чашечки, изъ которыхъ нижняя постоянно погружена въ сосудъ съ водой. Для избѣжанія параллакса при отчетѣ, дѣленія нанесены на стеклянномъ зеркалѣ. Отчитывать можно и десятыя доли миллиметра. Если пользоваться наборомъ разновѣсокъ, то можно производить взвѣшиванія совершенно

такъ же, какъ съ ареометромъ, все время приводя мѣтку на нижнемъ концѣ пружины къ одному и тому же дѣленію шкалы.



Болѣе простой способъ взвѣшиванія на пружинныхъ вѣсахъ, при которомъ разновѣски не примѣняются, основанъ на принципѣ, что растяженіе h почти пропорціонально привѣшенному грузу p, т. е. $p = A \,.\, h$. Нагрузивъ одинъ разъ извѣстнымъ вѣсомъ, можно опредѣлить коэффиціентъ A. — Такъ какъ при опредѣленіяхъ плотности единица вѣса не имѣетъ значенія, то здѣсь за единицу вѣса можно принять просто дѣленіе пружинныхъ вѣсовъ. Если вѣсы при наложеніи тѣла на верхнюю чашку опускаются на h, а при помѣщеніи тѣла подъ водою на нижней чашкѣ на h', то $s = h/(h - h')$.

4. Способъ, основанный на плаваніи

Удѣльный вѣсъ очень мелкихъ, даже порошкообразныхъ тѣлъ можно опредѣлить, составляя жидкую смѣсь, въ которой эти тѣла ни тонутъ, ни всплываютъ. Можно рекомендовать смѣси хлороформа (1·5), бромоформа (2·9) или іодистаго метила (3·3) съ бензоломъ, толуоломъ или ксилоломъ (всѣ три — около 0·9), или водные растворы двойной іодистой соли калія и ртути (Kaliumquecksilberjodid, растворъ Thoulet: 3·2).

Чтобы достигнуть болѣе точнаго равенства, цѣлесообразно поправлять смѣсь, немного болѣе легкую, чѣмъ слѣдуетъ, смѣсью, немного болѣе тяжелой. Можно также для уравниванія удѣльныхъ вѣсовъ воспользоваться измѣненіями температуры, такъ какъ жидкости расширяются сильно, а твердыя тѣла слабо.

Плотность жидкости, въ которой тѣла плаваютъ, проще всего опредѣлить вѣсами Мора.

Послѣ употребленія отдѣляютъ жидкости другъ отъ друга дробной перегонкой.

16. Приведеніе найденнаго значенія плотности къ пустотѣ и водѣ при 4°

Часто требуется знать третій десятичный знакъ удѣльнаго вѣса, а при анализахъ даже и четвертый. Въ такомъ случаѣ необходимо внести поправку, во-первыхъ, на то обстоятельство, что тѣло уже въ воздухѣ испы-

тываетъ потерю въ вѣсѣ, во-вторыхъ, на то, что обыкновенно работаютъ съ водой не при 4^0, а при нѣкоторой иной температурѣ. Если не принять это во вниманіе, то во второмъ десятичномъ знакѣ можетъ оказаться ошибка на нѣсколько единицъ.

I. Методы, указанные для жидкихъ и твердыхъ тѣлъ въ **15** A и B подъ Nr. 1, требуютъ приведенія найденныхъ вѣсовъ къ пустотѣ; см. **13** II и таблицу 1. Что касается разновѣсокъ, то на нихъ долженъ быть указанъ ихъ абсолютный вѣсъ.

II. Методы, перечисленные въ A и B подъ Nr. 2 и 3, при которыхъ примѣняется пикнометръ или производится опредѣленіе на основаніи закона Архимеда, требуютъ лишь относительно вѣрныхъ разновѣсокъ, такъ какъ тамъ важны лишь отношенія вѣсовъ. Предполагая, что такая относительная вѣрность разновѣсокъ дѣйствительно существуетъ, всѣ вышеуказанныя наблюденія можно привести къ пустотѣ и къ водѣ при 4^0 по нижеслѣдующему общему правилу.

Обозначимъ черезъ

Q плотность воды, служившей для опыта (таблица 4);

λ плотность воздуха относительно воды (среднее значеніе $\lambda = 0{\cdot}00120$ достаточно почти всегда; въ противномъ случаѣ см. **18** и таблицу 6);

m кажущійся, т. е. прямо даваемый вѣсами вѣсъ твердаго или жидкаго тѣла въ воздухѣ, или, при опредѣленіи удѣльнаго вѣса жидкости съ помощью стекляннаго грузила, — кажущуюся потерю въ вѣсѣ погруженнаго въ жидкость тѣла;

w кажущійся вѣсъ воды въ объемѣ, равномъ объему тѣла, при плотности воды Q.

Величиною w можетъ, слѣдовательно, быть

1. въ случаѣ жидкостей: наблюденный вѣсъ воды въ тарирной склянкѣ или вѣсъ воды, вытѣсненной стекляннымъ грузиломъ;

2. въ случаѣ твердыхъ тѣлъ: наблюденная потеря въ вѣсѣ тѣла въ водѣ при опредѣленіи съ помощью вѣсовъ или ареометра на основаніи закона Архимеда или, при опредѣленіи съ помощью тарирной склянки, вѣсъ воды, вылившейся при введеніи тѣла.

m/w есть приблизительный, неисправленный удѣльный вѣсъ. Точнымъ удѣльнымъ вѣсомъ будетъ

$$s = \frac{m}{w}(Q - \lambda) + \lambda \quad \text{или} \quad \frac{m}{w}Q + \left(1 - \frac{m}{w}\right)\lambda.$$

Это и есть формула, приводящая всѣ значенія, найденныя согласно пунктамъ 1 и 3 въ **15** A или B, къ пустому пространству и водѣ при 4^0. Второй видъ формулы, часто болѣе удобный при вычисленіяхъ въ умѣ, показываетъ, что вліяніе потери вѣса въ воздухѣ исчезаетъ, когда удѣльный вѣсъ близокъ къ 1, слѣдовательно, при разбавленныхъ водныхъ растворахъ.

Доказательство. Если тѣло, твердое или жидкое, вѣситъ въ воздухѣ m, а вытѣсняетъ вѣсъ воздуха l, то въ пустотѣ оно вѣситъ $m+l$. — Что касается вѣса воды w, то можно различать три случая. Если вѣсъ w равнаго объема воды опредѣленъ отвѣшиваніемъ, то вѣсъ воды въ пустотѣ $= w + l$. — Если опредѣлена кажущаяся потеря въ вѣсѣ w твердаго тѣла при погруженіи въ воду, то потерю эту точно также слѣдуетъ увеличить на l, потому что вѣсъ въ пустотѣ былъ бы на l больше, чѣмъ въ воздухѣ. — Въ третьемъ случаѣ, когда опредѣляютъ плотность жидкости, измѣряя кажущуюся потерю въ вѣсѣ одного и того же тѣла, погруженнаго въ эту жидкость и въ воду, то опять-таки каждую изъ этихъ потерь нужно увеличить на l.

Предположимъ еще, что плотность воды была не 1, а Q: въ такомъ случаѣ, тотъ же самый объемъ воды при 4^0 вѣсилъ бы не $w+l$, а $(w+l)/Q$. Итакъ, во всѣхъ случаяхъ истинная плотность тѣла $s=(m+l)\,Q/(w+l)$. Такъ какъ $(w+l)/Q$ обозначаетъ въ то же время объемъ вытѣсненнаго воздуха, имѣющаго удѣльный вѣсъ λ, то $l=\lambda\,(w+l)/Q$, откуда $l=w\lambda/(Q-\lambda)$. Подставивъ полученное значеніе для l въ s, найдемъ данное выше выраженіе.

Примѣръ. Пусть кусокъ серебра вѣситъ въ воздухѣ . . . . $m = 24{\cdot}312\ g$
въ водѣ при $19{\cdot}4^0$ . . . . $21{\cdot}916\ g$
тогда кажущаяся потеря вѣса въ водѣ . . . . $w = 2{\cdot}396\ g$

Слѣдовательно, неисправленный удѣльный вѣсъ былъ бы

$$m/w = 24{\cdot}312 \,/\, 2{\cdot}396 = 10{\cdot}147.$$

Исправленную величину получимъ, взявъ изъ таблицы 4 для $19{\cdot}4^0$ $Q = 0{\cdot}99835$,

$$s = 10{\cdot}147\ (0{\cdot}99835 - 0{\cdot}00120) + 0{\cdot}0012 = 10{\cdot}119.$$

Можно произвести вычисленіе въ умѣ, замѣтивъ, что

$$0{\cdot}99835 - 0{\cdot}00120 = 1 - 0{\cdot}00285.$$

Наконецъ, не слѣдуетъ еще упускать изъ виду, что вслѣдствіе теплового расширенія плотность вообще измѣняется съ температурой, и что вычисленныя значенія соотвѣтствуютъ той температурѣ, при которой надъ тѣломъ производилось измѣреніе, напримѣръ, при которой оно погружалось въ воду. Чтобы привести плотность къ какой-нибудь иной температурѣ, необходимо знать законъ расширенія тѣла, т. е. для твердаго тѣла коэффиціентъ расширенія (таблица 11), для жидкости же, вообще говоря, таблицу расширенія.

17. Волюмометръ

Приборъ предназначенъ для тѣлъ, которыхъ нельзя погружать въ жидкость. Основанъ на примѣненіи закона Бойля-Маріотта, по которому произведеніе изъ объема нѣкотораго количества воздуха на давленіе есть, при неизмѣнной температурѣ, величина постоянная; см. **18.**

Постоянное количество воздуха заперто надъ ртутью сначала подъ атмосфернымъ давленіемъ H *мм* ртутнаго столба (показаніе барометра). Если при увеличеніи или уменьшеніи объема на измѣренную величину v наблюдается измѣненіе давленія въ h *мм* ртутнаго столба, то первоначальный объемъ равенъ

$$V = v\frac{H-h}{h} \quad \text{или} \quad = v\frac{H+h}{h}.$$

Измѣривъ такимъ образомъ объемъ пустого сосуда, вводятъ въ него тѣло и повторяютъ тѣ же манипуляціи. Разность найденныхъ чиселъ есть объемъ тѣла; плотность равна, слѣдовательно, его вѣсу, дѣленному на эту разность.

v и h не должны быть слишкомъ малы, если желаютъ получить удовлетворительный результатъ. — Слѣдуетъ избѣгать измѣненій температуры взятаго количества воздуха отъ близости собственнаго тѣла и т. п. во время опыта.

18. Уравненія состоянія газа. Вычисленіе плотности воздуха и другихъ газовъ

По закону Бойля-Маріотта плотность s совершеннаго газа прямо пропорціональна, а объемъ v обратно пропорціоналенъ давленію H. Слѣдовательно,

$$s:s' = H:H' \quad \text{и} \quad v:v' = H':H \quad \text{или} \quad v\,.\,H = \text{const}.$$

При постоянномъ давленіи совершенный газъ расширяется одинаково на каждый градусъ повышенія температуры, именно на 1/273 или 0·00367 объема v_0, занимаемаго имъ при 0^0. Слѣдовательно (законъ Гэ-Люссака),

$$v = v_0(1 + 0{\cdot}00367\,t) = v_0\left(1 + \tfrac{1}{273}t\right) \quad \text{или} \quad = \tfrac{1}{273}v_0(273 + t).$$

$273 + t$ называется абсолютной температурой T: это температура, считаемая по стоградусной шкалѣ, за нуль которой принята однако точка -273^0C, на которой, другими словами, точка таянія льда обозначена не нулемъ, а числомъ $+273$.

Комбинируя оба закона, получаютъ выраженіе для плотности s при температурѣ t и давленіи H *мм* ртутнаго столба по плотности s_0 при 0^0 и 760 *мм* Hg:

$$s = \frac{s_0}{1 + 0{\cdot}00367\,.\,t}\cdot\frac{H}{760}.$$

Числовыя значенія выраженій $1 + 0{\cdot}00367\,t$ и $H/760$ смотри въ таблицѣ 7.

Плотность (удѣльный вѣсъ) сухого атмосфернаго воздуха при 0^0 и 760 *мм* есть $\lambda_0 = 0{\cdot}001293$. Температурѣ t и барометрической высотѣ H, приведенной къ 0^0 (см. **37**), соотвѣтствуетъ плотность воздуха

$$(1) \qquad \lambda = \frac{0{\cdot}001293}{1 + 0{\cdot}00367\,t} \cdot \frac{H}{760}.$$

Эту величину находятъ по таблицѣ 6. Удѣльный вѣсъ s другого совершеннаго газа для H и t вычисляютъ проще всего по плотности газа d, отнесенной къ воздуху (таблица 2): $s = \lambda \,.\, d$.

Если объемъ газа v измѣренъ надъ жидкостью (напримѣръ, водой), пары которой насыщаютъ пространство v, то по закону Дальтона давленіе сухого газа получаютъ, вычитая изъ общаго давленія упругость паровъ жидкости, насыщающихъ пространство. Для воды см. таблицу 13.

Плотность влажнаго воздуха. Влажный атмосферный воздухъ можетъ быть на 1% легче, чѣмъ при прочихъ равныхъ условіяхъ сухой воздухъ. Плотность водяного пара составляетъ приблизительно $\frac{5}{8}$ плотности воздуха при томъ же давленіи и температурѣ: слѣдовательно, для нахожденія плотности влажнаго воздуха нужно вычесть изъ общаго давленія (показаніе барометра) $\frac{3}{8}e$, гдѣ e представляетъ упругость (давленіе) водяного пара въ воздухѣ (**47**), и поправленную такимъ образомъ величину H принять при пользованіи таблицей 6 или предыдущей формулой.

При допущеніи, что воздухъ наполовину насыщенъ парами воды, можно при комнатной температурѣ принять для H все давленіе, но пользоваться формулой

$$(2) \qquad \lambda = \frac{0{\cdot}001295}{1 + 0{\cdot}004\,t} \cdot \frac{H}{760}.$$

18а. Эвдіометръ (Вольта)

Приборъ служитъ прежде всего для опредѣленія кислорода въ воздухѣ. Прочная стеклянная трубка, закрытая съ одной стороны, раздѣлена какъ по объему, такъ и по длинѣ. Двѣ платиновыя проволоки, впаянныя у закрытаго конца, позволяютъ воспламенять взрывчатую газовую смѣсь электрической искрой (отъ электростатической машины, электрофора, индукторія).

Наполняютъ эвдіометръ ртутью, удаляютъ приставшій къ стѣнкамъ воздухъ, опрокидываютъ надъ ртутью, вводятъ просушенный анализируемый воздухъ и измѣряютъ его объемъ v_1, давленіе H_1 (высота барометра минусъ высота поднятой ртути) и температуру t_1. Добавляютъ сухого водорода въ избыткѣ противъ кислорода и опредѣляютъ новыя v_2, H_2 и t_2.

Прижимаютъ трубку къ укрѣпленной на днѣ ванны пробкѣ, пропускаютъ нѣсколько искръ и, приподнявъ эвдіометръ надъ пробкой, измѣряютъ v_3, H_3 и t_3.

Если всѣ три температуры равны, объемъ кислорода, содержащійся въ единицѣ объема, равенъ

$$\frac{1}{3}\,\frac{v_2 H_2 - v_3 (H_3 - e)}{v_1 H_1},$$

гдѣ e означаетъ упругость насыщеннаго водяного пара при t_3 (таблица 13). Если температура мѣнялась, слѣдуетъ раздѣлить каждое vH и $v_3(H_3 - e)$ на соотвѣтствующее $1 + \alpha t$.

Доказательства очень просто вытекаютъ изъ **18**.

Болѣе точные пріемы и эвдіометрическіе методы для другихъ газовъ см. Бунзенъ, газометрическіе методы; Гемпель, газаналитическіе методы, изд. 3, 1900 (Bunsen, gasometrische Metoden; Hempel, gasanalytische Methoden, 3. Aufl. 1900).

19. Опредѣленіе плотности пара

Ненасыщенные пары слѣдуютъ законамъ газовъ. (Всѣ газы ничто иное, какъ ненасыщенные пары). Плотностью пара d называется плотность пара (или газа) по отношенію къ сухому атмосферному воздуху той же температуры и подъ тѣмъ же давленіемъ.

Важное значеніе ея для химіи основывается на законѣ Авогадро, по которому равные объемы различныхъ газовъ и паровъ содержатъ при одной и той же температурѣ и давленіи одинаковое число молекулъ: другими словами, молекулярные объемы всѣхъ газовъ и паровъ при этихъ условіяхъ одинаковы. Отнесенная къ воздуху плотность пара вещества равна его молекулярному вѣсу, дѣленному на 28·95; напримѣръ, для воды H_2O она равна $18/28{\cdot}95 = 0{\cdot}622$.

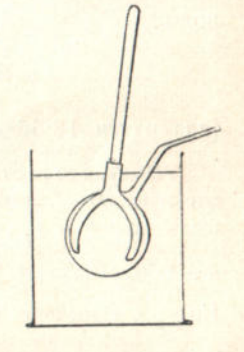
Въ химіи плотность относятъ обыкновенно не къ воздуху, а къ газу, плотность котораго составляетъ $\frac{1}{32}$ плотности кислорода, т. е. умножаютъ отнесенную къ воздуху плотность на $32/1{\cdot}1052 = 28{\cdot}95$. Вслѣдствіе этого плотность пара оказывается просто равной молекулярному вѣсу въ парообразномъ состояніи, такъ какъ молекулярный вѣсъ газообразнаго кислорода (O_2) равенъ 32.

Граммъ-молекула („Mol"), т. е. столько граммовъ вещества, сколько единицъ въ его химическомъ молекулярномъ вѣсѣ, занимаетъ въ парообразномъ состояніи при давленіи 760 *мм* ртутнаго столба и температурѣ t объемъ $22 \cdot 4\ (1 + 0 \cdot 00367\, t)$ литровъ.

У многихъ паровъ молекула при повышеніи температуры становится меньше (диссоціація); дѣйствительная плотность пара d въ этомъ случаѣ меньше вычисленной d_0. При распаденіи на двѣ молекулы, $\frac{d_0}{d} - 1$ называютъ степенью диссоціаціи; послѣдняя есть, собственно, отношеніе числа распавшихся молекулъ къ первоначальному общему числу.

A. Взвѣшиваніемъ извѣстнаго объема пара (Дюма)

Берутъ легкую стеклянную колбу емкостью отъ $^1/_{10}$ до $^1/_4$ литра, напримѣръ, стеклянный шаръ съ припаянной трубкой, хорошо вычищаютъ и просушиваютъ, нагрѣвая и одновременно высасывая воздухъ черезъ введенную въ шаръ трубочку, чтобы внутри не оставалось ничего, могущаго дать пары. Затѣмъ трубка оттягивается въ кончикъ съ отверстіемъ приблизительно въ 1 $мм^2$, и въ такомъ видѣ приборъ взвѣшивается. Послѣ этого вводятъ въ колбу нѣсколько граммовъ изслѣдуемой жидкости, подогрѣвая колбу и предоставляя жидкости всасываться при охлажденіи.



Захватываютъ колбу въ приспособленную для этой цѣли держалку (рис.) и погружаютъ въ ванну такъ, чтобы открытый кончикъ выставлялся наружу; ванна нагрѣвается на $10^0 - 20^0$ выше точки кипѣнія обращаемой въ паръ жидкости. Когда вся жидкость испарилась, баллонъ хорошо запаиваютъ на пламени паяльной трубки — надежнѣе всего оттянуть кончикъ — и замѣчаютъ температуру ванны и высоту барометра.

Вынувъ колбу изъ ванны и перевернувъ ее, даютъ сгустившимся вслѣдствіе охлажденія каплямъ стечь въ кончикъ и убѣждаются, что воздухъ здѣсь совершенно не проходитъ. Затѣмъ охлажденный и хорошо вытертый баллонъ снова взвѣшиваютъ, если нужно, вмѣстѣ съ оттянутымъ при запаиваніи кончикомъ, и замѣчаютъ температуру въ шкафикѣ вѣсовъ, показаніе гигрометра, а также высоту барометра, если между запаиваніемъ и взвѣшиваніемъ прошло довольно много времени.

Наконецъ, опускаютъ кончикъ баллона въ воду, предъ тѣмъ прокипяченную или освобожденную отъ воздуха подъ колоколомъ воздушнаго насоса [или въ ртуть] и, сдѣлавъ напилкомъ надрѣзъ, отламываютъ, послѣ чего жидкость входитъ въ баллонъ. Наполненный баллонъ вмѣстѣ съ отломаннымъ кончикомъ снова взвѣшиваютъ, для чего пригодны и болѣе грубые вѣсы. — Пусть

m вѣсъ баллона съ воздухомъ,
m' „ „ „ паромъ,
M „ „ „ водой [или ртутью];
t и b температура пара и высота барометра при запаиваніи;
t' и b' температура въ шкафикѣ вѣсовъ и высота барометра при взвѣшиваніи съ паромъ. Изъ b' (но не изъ b) вычтено $\frac{3}{8}$ упругости e водяного пара (**47**) въ вѣсовой комнатѣ (см. **18**);
λ' плотность воздуха, находимая соотвѣтственно t', b' по **18** или изъ таблицы 6.

Тогда плотность пара, если взвѣшиваніе было произведено съ водой,

$$d = \left(\frac{m'-m}{M-m}\ \frac{1}{\lambda'} + 1\right) \frac{b'}{b}\ \frac{1+0{\cdot}00367\,t}{1+0{\cdot}00367\,t'}$$

[для ртути $13{\cdot}56/\lambda'$ вмѣсто $1/\lambda'$].

Доказательство. Если D и L вѣса пара и воздуха въ баллонѣ, то очевидно, $D-L=m'-m$ и $D=m'-m+L$. Если бы паръ, какъ и воздухъ, былъ при t' и b', то плотность пара d выражалась бы просто черезъ $d=D/L=(m'-m)/L+1$ или, такъ какъ $L=\lambda'(M-m)$, черезъ $d=\frac{m'-m}{M-m}\ \frac{1}{\lambda'}+1$. Но такъ какъ паръ былъ запертъ не при t' и b', а при t и b, то выраженіе для d нужно умножить еще на $\frac{b'}{b}\ \frac{1+0{\cdot}00367\,t}{1+0{\cdot}00367\,t'}$.

Для большей точности вычисленій слѣдовало бы принять во вниманіе температуру воды и расширеніе стекла, однако остальныя погрѣшности бываютъ обыкновенно значительно больше.

До сихъ поръ предполагалось, что паръ вполнѣ вытѣсняетъ воздухъ. Если остается воздушный пузырекъ, то шаръ предъ взвѣшиваніемъ наполняютъ совершенно посредствомъ промывалки и вычисляютъ по прежней формулѣ: получается приблизительно вѣрный результатъ. Большій остатокъ воздуха нужно опредѣлять отдѣльно и вводить въ вычисленіе.

Примѣръ. Было найдено

$m = 29{\cdot}6861$ *г* (воздухъ) } слѣдовательно, паръ минусъ воздухъ
$m' = 29{\cdot}8431$ *г* (паръ) } $m' - m = 0{\cdot}1570$ *г*;
$M = 142{\cdot}41$ *г* (вода), слѣдовательно, вода нетто: $M - m = 112{\cdot}72$ *г*;
$b = 745{\cdot}6$ *мм* и $t = 99{\cdot}5^0$ (при запаиваніи);
барометръ $= 742{\cdot}2$ *мм*, упругость водяныхъ паровъ $= 9{\cdot}4$ *мм*, и $t' = 18{\cdot}7^0$ (при взвѣшиваніи съ паромъ). Слѣдовательно, $b' = 742{\cdot}2 - \frac{3}{8} . 9{\cdot}4 = 738{\cdot}7$.

Изъ таблицы 6 для b' и t' найдено $\lambda' = 0{\cdot}001176$. Слѣдовательно, плотность пара

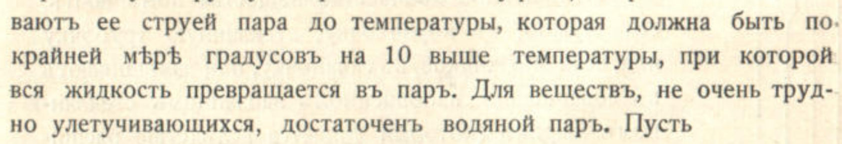
$$d = \left(\frac{0{\cdot}1570}{112{\cdot}72} \cdot \frac{1}{0{\cdot}001176} + 1\right) \frac{738{\cdot}7}{745{\cdot}6} \cdot \frac{1{\cdot}3651}{1{\cdot}0686} = 2{\cdot}765.$$

Выраженіе $1 + 0{\cdot}00367\,t$ см. въ таблицѣ 7.

Отнесенная къ кислороду = 32 плотность пара, или молекулярный вѣсъ пара, равна, слѣдовательно, $2{\cdot}765 . 28{\cdot}95 = 80{\cdot}0$ (см. стр. 58).

В. Измѣреніемъ объема паровъ взвѣшеннаго количества жидкости (Гэ-Люссакъ, Гофманъ)

Тонкостѣнный стеклянный шарикъ, шейка котораго послѣ наполненія запаивается или даже оставляется открытой, если она очень тонка, или крошечная скляночка емкостью около $^1/_{10} - ^1/_5$ *см*^{3} взвѣшивается сначала пустой, затѣмъ съ веществомъ, плотность паровъ котораго требуется опредѣлить. Скляночку съ ея содержимымъ подводятъ подъ отверстіе стеклянной трубки, наполненной сухой, не содержащей воздуха ртутью **(24)** и опрокинутой надъ ртутью, и даютъ ей всплыть; трубка раздѣлена, начиная съ закрытаго конца, на *см*^{3} или просто на *мм*, которые, по **23**, превращаются въ объемы. Если жидкость очень летуча, скляночка можетъ лопнуть еще во время всплыванія, и ртуть, отброшенная вслѣдствіе этого въ пустоту, разобьетъ трубку. Чтобы этого не случилось, н а к л о н я ю т ъ с т е к л я н н у ю т р у б к у во время всплыванія настолько, чтобы р т у т ь д о х о д и л а д о с а м а г о в е р х а! Окруживъ измѣрительную трубку нагрѣвательной муфтой, нагрѣваютъ ее струей пара до температуры, которая должна быть по крайней мѣрѣ градусовъ на 10 выше температуры, при которой вся жидкость превращается въ паръ. Для веществъ, не очень трудно улетучивающихся, достаточенъ водяной паръ. Пусть



m вѣсъ испарившагося вещества въ граммахъ,

t, v температура и объемъ пара въ кубическихъ сантиметрахъ; если

v_0 объемъ занятой паромъ части стеклянной трубки при 18°, то слѣдуетъ положить $v = v_0\,[1 + 0{\cdot}000025\,(t - 18)]$;

b внѣшнее барометрическое давленіе,

h высота ртутнаго столба, надъ которымъ находится паръ; b и h приведены къ 0° (**37**);

e упругость ртутныхъ паровъ при температурѣ t:

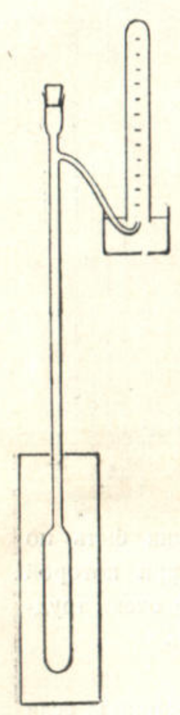
$t = 80°$	100°	120°	140°	160°	180°	200°
$e = 0{\cdot}1$	0·3	0·7	1·8	4·2	8·9	17·6 *мм.*

Тогда m/v есть удѣльный вѣсъ пара по отношенію къ водѣ. Чтобы найти плотность пара d, отнесенную къ воздуху при той же температурѣ и давленіи, нужно, слѣдовательно, раздѣлить m/v на удѣльный вѣсъ воздуха, соотвѣтствующій давленію $b - h - e$ и t, т. е. на $\frac{0{\cdot}001293}{1 + 0{\cdot}00367\,t}\,\frac{b-h-e}{760}$.

Слѣдовательно,

$$d = \frac{m}{v}\,\frac{1 + 0{\cdot}00367\,t}{0{\cdot}001293}\,\frac{760}{b-h-e}.$$

C. Вытѣсненіемъ воздуха (Викторъ Мейеръ)



Объемъ паровъ взвѣшеннаго небольшого количества вещества опредѣляется по количеству воздуха, вытѣсненнаго при обращеніи въ паръ.

Стеклянная или фарфоровая, для высокихъ температуръ, колбочка съ длинной шейкой и узкой, около 1 *мм*, газоотводной трубкой (рис.), хорошо высушенная, съ небольшимъ количествомъ азбеста на днѣ, нагрѣвается въ воздушной или паровой ваннѣ или даже въ расплавленномъ парафинѣ и т. п. (таблицы 11 и 12) до требуемой температуры, выше точки кипѣнія изслѣдуемаго вещества. Ожидаютъ, пока температура станетъ постоянной, т. е. пока не перестанутъ выдѣляться подъ водой изъ газоотводной трубки пузырьки воздуха.

Отвѣшенное количество вещества помѣщаютъ, если нужно, въ корзиночку, стеклянную трубочку или, если оно жидкое, въ скляночку, или взвѣшиваютъ въ совершенно наполненномъ запаянномъ стеклянномъ шарикѣ (который лопается вслѣдствіе расширенія вещества). Приподнявъ пробку, быстро бросаютъ вещество въ колбу и тотчасъ закрываютъ

снова отверстіе. Вслѣдъ за этимъ надвигаютъ на отверстіе газоотводной трубки наполненный водой измѣрительный цилиндръ, собираютъ въ него воздухъ, вытѣсняемый парами вещества, и замѣчаютъ его объемъ.

Болѣе удобнымъ во многихъ отношеніяхъ, чѣмъ пробка, при которой нужно работать очень быстро, является приспособленіе, состоящее изъ надѣтой на горлышко колбы короткой, плотно облегающей каучуковой трубки съ стеклянной трубочкой, внизу закрытой или снабженной краномъ, открывая который, можно воспрепятствовать водѣ проникнуть въ колбу при случайномъ пониженіи температуры (рис.). Въ эту трубочку помѣщаютъ опускаемое тѣло и въ подходящій моментъ, выпрямивъ трубочку, даютъ ему упасть; или задерживаютъ тѣло палочкой, введенной сбоку безъ доступа воздуху, при оттягиваніи которой тѣло падаетъ (рис.).

Существенно, чтобы процессъ протекалъ короткое время, чтобы, напримѣръ, пары не успѣвали дойти до болѣе холодныхъ частей трубки и конденсироваться тамъ, вслѣдствіе чего найденный объемъ оказался бы слишкомъ малымъ. Поэтому температура ванны должна быть значительно выше точки кипѣнія вещества. Слишкомъ продолжительное выдѣленіе воздуха можетъ указывать на разложеніе вещества.

Пусть m вѣсъ введеннаго вещества въ граммахъ,

v измѣренный объемъ воздуха въ кубическихъ сантиметрахъ,

t комнатная температура,

H давленіе, подъ которымъ находится воздухъ въ цилиндрѣ, въ *мм* ртути при 0^0,

тогда искомая плотность пара

$$d = \frac{m}{v} \frac{760}{H} \frac{1 + 0{\cdot}004\, t}{0{\cdot}001293} = 587800 \frac{m}{Hv} (1 + 0{\cdot}004\, t).$$

Дѣйствительно, паръ вытѣснилъ количество воздуха, которое при тѣхъ же условіяхъ имѣло бы равный объемъ. Слѣдовательно, вѣсъ пара m, дѣленный на вѣсъ этого количества воздуха, даетъ искомую плотность пара. Измѣренный объемъ воздуха вѣситъ (18) $v \frac{0{\cdot}001293 \cdot H}{(1 + 0{\cdot}004\, t \cdot 760}$, откуда непосредственно и получается данное выше выраженіе. Множитель 0·004 взятъ

вмѣсто коэффиціента расширенія 0·00367 съ цѣлью учесть влажность воздуха. Онъ приблизительно соотвѣтствуетъ, при обыкновенной температурѣ, допущенію, что воздухъ въ колбѣ былъ насыщенъ на двѣ трети, а въ цилиндрѣ, надъ водой, вполнѣ.

Давленіе H равно высотѣ барометра b безъ высоты h водяного столба подъ воздухомъ, приведеннаго къ ртутному. Слѣдовательно, $H = b - \frac{1}{13{\cdot}6} h$. Если предъ отчитываніемъ погрузить измѣрительную трубку настолько, чтобы уровень воды внутри ея и снаружи былъ одинаковъ, то H есть просто барометрическая высота.

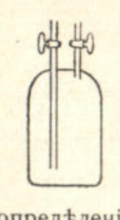
20. Опредѣленіе плотности газа

Плотность газа есть для газообразныхъ тѣлъ то же, что плотность пара для другихъ веществъ. Ее, какъ и послѣднюю, относятъ къ воздуху той же температуры и подъ тѣмъ же давленіемъ; см. **19**, начало. Для разсчетовъ служатъ законы газовъ (**18**).

A. Взвѣшиваніемъ

Для опредѣленія плотности постояннаго газа наполняютъ имъ стеклянный баллонъ съ припаянной стеклянной трубкой (удобнѣе всего съ краномъ), для чего, напримѣръ, наполняютъ баллонъ ртутью, опрокидываютъ его надъ ртутной ванной и вытѣсняютъ ртуть газомъ. Въ тотъ моментъ, когда ртуть внутри и снаружи стоитъ на одномъ уровнѣ, т. е. когда газъ находится подъ атмосфернымъ давленіемъ, баллонъ запираютъ и взвѣшиваютъ (m'). Затѣмъ газъ вытѣсняется достаточно сильной струей воздуха (комнатнаго, не просушеннаго), и баллонъ взвѣшивается открытымъ (m). Пусть, наконецъ, взвѣшиваніе съ водой или ртутью дало вѣсъ M; b и t, какъ въ **19** A, высота барометра и температура въ моментъ запиранія газа; t' и b' соотвѣтствуютъ моменту взвѣшиванія баллона съ газомъ. Тогда плотность газа вычисляется по формулѣ стр. 60.

Нѣкоторое количество ртути, могущее остаться при наполненіи газомъ, оставляется безъ измѣненія при всѣхъ взвѣшиваніяхъ.



Располагая достаточно большимъ количествомъ газа, можно воспользоваться также стеклянной колбочкой съ двумя трубками (или пикнометромъ: четвертый на рис. стр. 46), изъ которой вытѣсняютъ воздухъ непрерывной струей газа. Газъ, тяжелѣе воздуха, вводится черезъ длинную трубку и наоборотъ. Для приблизительнаго опредѣленія можно удовольствоваться даже любой узкогорлой склян-

кой или колбочкой емкостью отъ 100 до 200 *см*³. Смотря по тому, тяжелѣе или легче воздуха взятый газъ, склянку во время наполненія ставятъ прямо или горлышкомъ внизъ, вводя газъ черезъ узкую трубочку, доходящую до самаго дна; закупориваютъ каучуковой пробочкой, медленно вытянувъ трубку. Слѣдуетъ избѣгать нагрѣванія рукой и, въ виду диффузіи, производить взвѣшиваніе быстро. О вычисленіи см. стр. 60.

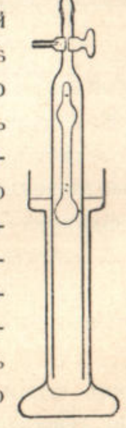
Если наполненіе и взвѣшиваніе происходятъ при одной и той же температурѣ и давленіи, то имѣемъ просто

$$d = \frac{m' - m}{M - m} \frac{1}{\lambda} + 1.$$

B. По времени истеченія (Бунзенъ)

Плотности газовъ приблизительно обратно пропорціональны квадратамъ скоростей истеченія, съ которыми газы выходятъ, подъ однимъ и тѣмъ же давленіемъ, изъ узкаго отверстія въ стѣнкѣ. Если поэтому сравнить время истеченія опредѣленнаго количества газа со временемъ истеченія, при тѣхъ же условіяхъ, равнаго объема воздуха, то квадратъ отношенія временъ даетъ плотность газа.

Стекляный цилиндръ (черт.) съ краномъ, закрытый вверху шлифомъ, на который напаяна тонкая металлическая пластинка съ очень узкимъ отверстіемъ, наполняется надъ ртутью (**24**) сухимъ, отфильтрованнымъ отъ пыли черезъ вату воздухомъ или изслѣдуемымъ газомъ. Для наполненія удобенъ двухходовой кранъ, второй каналъ котораго проходитъ въ пробкѣ крана въ направленіи ея длины; при отсутствіи таковового пользуются верхнимъ отверстіемъ, удаливъ шлифъ. Газъ вводится черезъ надѣтую каучуковую трубку. Если цилиндръ можно погрузить въ ртуть до самаго крана, то наполняютъ, медленно подымая цилиндръ. Въ противномъ случаѣ поднимаютъ его настолько, чтобы поверхность ртути какъ разъ еще запирала его нижнее отверстіе и пропускаютъ газъ въ избыткѣ до полнаго вытѣсненія воздуха; однако этотъ способъ ненадеженъ, такъ какъ при отдѣленіи пузырей газа нѣкоторое количество воздуха легко можетъ ворваться въ цилиндръ.



Погружаютъ теперь цилиндръ въ ртуть на такую глубину, одинаковую притомъ во всѣхъ опытахъ, чтобы поплавокъ (черт.) скрылся изъ виду, и открываютъ кранъ. За уровнемъ ртути въ

цилиндрѣ, наблюдать который прямо — не позволяетъ непрозрачность ртути, слѣдятъ по увлекаемому ртутью поплавку, на которомъ имѣются двѣ отчетливыя мѣтки, одна у верхняго конца, другая на нѣсколько сантиметровъ выше нижняго конца. Наблюдаютъ моменты, когда эти мѣтки какъ разъ выступаютъ изъ поверхности ртути. Черта, находящаяся непосредственно надъ нижней мѣткой (черт.), должна подготовлять къ ея появленію.

Примѣръ.	воздухъ	углекислота
Моментъ появленія верхней мѣтки	14·3 *сек*	42·5 *сек*
„ „ нижней „	51·2 „	1 *мин* 27·8 „
продолжительность	36·9 *сек*	45·3 *сек*

Слѣдовательно, для углекислоты, по отношенію къ воздуху, $d = (45{\cdot}3/36{\cdot}9)^2 = 1{\cdot}507$. Плотность по отношенію къ водороду ($= 2$), или молекулярный вѣсъ, равняется $1{\cdot}507 \,.\, 28{\cdot}95 = 43{\cdot}6$ (вмѣсто $CO_2 = 44$).

ИЗМѢРЕНІЕ ПРОСТРАНСТВА И ВРЕМЕНИ

21. Измѣреніе длины

I. Масштабъ съ чертами

Вслѣдствіе теплового расширенія масштабъ можетъ быть вѣренъ только при одной опредѣленной температурѣ, его „нормальной температурѣ“ t_0. Измѣренная имъ при другой температурѣ t кажущаяся длина l на самомъ дѣлѣ равна $l\,(1+\beta\,(t-t_0))$, гдѣ β коэффиціентъ расширенія (табл. 11; латунь: 0·000019). Тепловымъ расширеніемъ деревянныхъ масштабовъ въ направленіи волоконъ можно по большей части пренебречь.

Ноніусъ. Служитъ для опредѣленія дробныхъ долей дѣленія масштаба, независимо отъ оцѣнки на глазъ. Подвижная точка („нулевая точка“), установка которой на масштабѣ отчитывается, представляетъ начало дѣленій передвижной вспомогательной шкалы, содержащей 10 дѣленій, равныхъ въ суммѣ или 9 или 11 дѣленіямъ масштаба (черт.). Если нуль ноніуса смѣщенъ относительно черты дѣленій на $n/10$, то n-ая черта ноніуса совпадаетъ съ одной изъ цѣлыхъ чертъ главнаго масштаба. На чертежѣ одинъ изъ ноніусовъ показываетъ 221·7, другой 246·7.

Параллаксъ. При косомъ визированіи возникаетъ ошибка вслѣдствіе „параллакса“, особенно трудно устранимая при измѣреніи высоты жидкости въ раздѣленной трубкѣ. Чтобы узнать, перпендикулярно ли къ дѣленіямъ направленіе визированія, пользуются полоской зеркальнаго стекла, прикладываемой къ дѣленіямъ. Глазъ держатъ такъ, чтобы его зеркальное изображеніе казалось расположеннымъ у точки, установку которой опредѣляютъ.

Микроскопъ. Для очень малыхъ длинъ лучше всего примѣнять микроскопъ съ „окулярнымъ микрометромъ“. Положивъ подъ микроскопъ въ качествѣ объекта стеклянный микрометръ съ дѣленіями извѣстной величины, опредѣляютъ сперва значеніе дѣленій окулярнаго микрометра и затѣмъ поступаютъ понятнымъ образомъ.

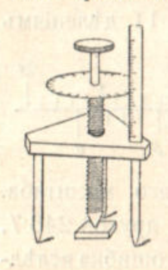
Самъ окулярный микрометръ можетъ состоять изъ нанесенныхъ на стеклѣ дѣленій или изъ одной или пары нитей, передвигаемыхъ микрометреннымъ винтомъ. Перемѣщеніе отчитывается на тамбурѣ винта.

Не упускайте изъ виду, что постоянство увеличенія микроскопа предполагаетъ неизмѣнность положенія окулярнаго микрометра относительно объектива.

II. Контактные масштабы

Разстояніе между двумя конечными плоскостями тѣла измѣряютъ съ большей или меньшей точностью посредствомъ длино - и толстомѣровъ (извѣстныхъ въ продажѣ подъ названіями Schustermaß, Fühlhebel, Kontaktschraube). Слѣдуетъ обращать вниманіе на правильность ихъ нулевой точки или вводить необходимыя поправки.

Сферометръ. Для тонкихъ измѣреній толщины служитъ винтъ сферометра; ходъ винта и принимаютъ сначала за единицу длины. Изображенный на рисункѣ простѣйшій сферометръ ставится сначала тремя ножками на плоскую подножку (на пластинку зеркальнаго



стекла, передняя поверхность которой даетъ на большомъ разстояніи правильное зеркальное изображеніе; см. **66** IV), причемъ находящійся въ серединѣ винтъ устанавливаютъ какъ разъ на соприкосновеніе (см. ниже). Это положеніе замѣчаютъ, отчитывая дробныя доли хода винтана раздѣленномъ кругѣ, вращающемся вмѣстѣ съ винтомъ, а цѣлыя — по числу оборотовъ или на масштабикѣ, котораго этотъ кругъ почти касается.

Затѣмъ вращаютъ винтъ въ обратную сторону, считая для большей надежности обороты, кладутъ подъ него тѣло, толщину котораго слѣдуетъ опредѣлить, снова устанавливаютъ винтъ на соприкосновеніе, дѣлаютъ отчетъ и берутъ разность между этой установкой и первой. Толщина проволокъ и т. п. измѣряется между остріями или пластинками.--Для перевода толщины на *мм* слѣдуетъ умножить найденную разность на высоту хода винта, данную при приборѣ или опредѣленную какимъ-нибудь способомъ.

Что остріе винта какъ разъ касается поверхности, узнаютъ по тому, что приборъ тогда не стоитъ уже твердо, а качается на остріѣ винта или легко можетъ вращаться около него.

Очень тонкій оптическій критерій могутъ доставить Ньютоновы полосы интерференціи. Для этого кладутъ между остріемъ и подставкой еще стеклянную пластинку, верхняя поверхность которой служитъ теперь исходной плоскостью. Между пластинками возникаютъ тогда полосы интерференціи, особенно отчетливыя при освѣщеніи натріевымъ пламенемъ; прикосновеніе винта рѣзко обнаруживается тотчасъ происходящимъ смѣщеніемъ полосъ интерференціи.

Для установки можетъ служить, вмѣсто плоскопараллельной пластинки, также чувствительный рычажокъ или чувствительный уровень надъ винтомъ. Тогда устанавливаютъ всегда на одно и то же дѣленіе указателя или смѣщеніе пузырька уровня.

Объ измѣреніи радіуса кривизны см. **66** I.

22. Катетометръ

Катетометръ служитъ для измѣренія разстояній по вертикали. Горизонтальная зрительная труба, вращающаяся около вертикальной оси, можетъ передвигаться посредствомъ салазокъ вдоль вертикальнаго масштаба. Для правильности измѣреній необходимо, чтобы ось трубы была всегда горизонтальна, чтобы, слѣдовательно, ось вращенія была вертикальна, а направленіе визированія перпендикулярно къ ней. О горизонтальности трубы судятъ по уровню на ней; вращая трубу вокругъ ея оптической оси, слѣдуетъ испытать совпадаетъ ли оптическая ось съ геометрической. При помощи того же уровня судятъ о вертикальности оси вращенія, что имѣетъ мѣсто, если установка уровня при вращеніи не мѣняется. Вертикальность самого масштаба провѣряется достаточно точно посредствомъ отвѣса.

При слишкомъ большихъ разстояніяхъ примѣненіе катетометра становится ненадежнымъ по причинѣ неточности установки, искривленія масштаба и большихъ ошибокъ вслѣдствіе сотрясеній.

23. Опредѣленіе емкости взвѣшиваніемъ

Продажные измѣрительные сосуды, пипетки, бюретки и проч. часто бываютъ очень невѣрны. Распространено еще Моровское (Mohr) обозначеніе „Cbcm", выводимое изъ кажущагося вѣса воды при 15° въ воздухѣ. При этомъ литръ оказывается на 1·9 $см^3$ больше истиннаго. Находящіяся теперь въ продажѣ клейменыя мѣры емкости раздѣлены согласно правильно опредѣленной мѣрѣ.

Если жидкость вѣситъ въ воздухѣ m *г*, то ея объемъ въ *см*³:

$$v = \frac{m}{s}\left(1 + \frac{\lambda}{s} - \frac{\lambda}{\sigma}\right),$$

гдѣ s, σ и λ плотности жидкости, разновѣсокъ и воздуха (0·0012; **18** и табл. 6); см. **13** II и табл. 1.

Калибруютъ почти исключительно водой или ртутью. 1 *см*³ воды при 4⁰ вѣситъ въ пустотѣ 1 *г*. При другой температурѣ пусть плотность воды будетъ Q (табл. 4). Кажущійся граммъ, найденный взвѣшиваніемъ въ воздухѣ, латунными разновѣсками ($\sigma = 8{\cdot}4$), имѣетъ, слѣдовательно, объемъ $\frac{1}{Q}\left(1 + \frac{0{\cdot}0012}{Q} - \frac{0{\cdot}0012}{8{\cdot}4}\right)$ *см*³, или безъ замѣтной погрѣшности (стр. 27), $(2{\cdot}00106 - Q)$ *см*³. Кажущійся граммъ воды при 18⁰ занимаетъ объемъ 1·00244 *см*³. Ради удобства, для вымѣриванія сосуда изъ обыкновеннаго стекла, во второй части табл. 4 приведены объемы и при другихъ температурахъ, притомъ уже исправленные такъ, что они дѣйствительны для объема сосуда при 18⁰.

Если объемъ сосуда при температурѣ t надо перечислить на другую t', то

$$v' = v\left(1 + 3\beta\,(t' - t)\right),$$

гдѣ β коэффиціентъ линейнаго расширенія сосуда (табл. 11). Для обыкновеннаго стекла, въ среднемъ, $3\beta = 1/40000$.

Мѣры емкости могутъ быть опредѣлены и провѣрены или для наполненія сухого сосуда или для выливанія. Первое точнѣе. Во второмъ случаѣ вычитаютъ, понятно, вѣсъ смоченнаго сосуда. Если хотятъ, чтобы этотъ пріемъ далъ точные результаты, надо тщательно соблюдать постоянство условій и продолжительности стеканія капель или выдуванія.

Вліяніе мениска жидкости исключаютъ по возможности, дѣлая отчетъ всегда одинаково, обыкновенно въ горизонтальной плоскости, касательной къ мениску. Необходимость, для устраненія параллакса, визировать въ одномъ и томъ же направленіи принуждаетъ пользоваться зрительной трубой, передвигающейся на вертикальной штангѣ, или, проще, направлять глазъ всегда на одну и ту же отдаленную точку, или, наконецъ, примѣнять полоски зеркальнаго стекла (стр. 67).

Калиброваніе раздѣленной трубки ртутью. Наполняютъ ртутью небольшой отшлифованный вверху, покрытый пластинкой сосудъ, напримѣръ, стеклянную закрытую внизу трубочку, вмѣщающую такимъ образомъ вполнѣ опредѣленное количество ртути, и,

держа ее для предупрежденія нагрѣванія за рукоятку, выливаютъ въ калибруемый сосудъ; затѣмъ повторяютъ это, отмѣчая каждый разъ уровень ртути. Объемъ ртути, см. **24**.

24. Калиброваніе узкой трубки

Очистка ртути. Пыль удаляется фильтрованіемъ черезъ бумажную воронку или фильтръ съ узкой дырочкой; окись или посторонніе металлы— встряхиваніемъ, напримѣръ, съ разбавленной азотной кислотой и затѣмъ неоднократнымъ основательнымъ взбалтываніемъ съ водой. Затѣмъ сушатъ: съ поверхности—фильтровальной бумагой, окончательно—нагрѣваніемъ приблизительно до 150°.

Измѣреніе сѣченія узкихъ трубокъ необходимо, напримѣръ, при опредѣленіи коэффиціента теплового расширенія или капиллярной постоянной жидкости, при изготовленіи термометровъ, при измѣреніи электрическаго сопротивленія.

Вычищенная и хорошо просушенная струей воздуха трубка кладется горизонтально на масштабъ (съ зеркаломъ для устраненія параллакса), и вводится столбикъ чистой ртути, который можно передвигать. Послѣднее производится наклоненіемъ и постукиваніемъ или посредствомъ кусочка каучуковой кишки, надѣтой на трубку; закрывъ одной рукой конецъ кишки, можно другой рукой двигать столбикъ впередъ и назадъ, выжимая воздухъ изъ кишки или, если она раньше была сжата, втягивая.

Если трубка открыта у одного только конца, то для введенія или передвиженія ртути нужно дать выходъ находящемуся подъ нею воздуху. Это легко сдѣлать, вдвигая въ трубку черезъ ртутный столбикъ чистую тонкую проволоку, желѣзную или лучше платиновую. Вдоль проволоки образуется самъ собою воздушный каналъ.

Чтобы раздѣлить трубку на равные объемы, передвигаютъ столбикъ всегда на такое разстояніе, чтобы его начало пришлось, приблизительно, тамъ, гдѣ раньше былъ конецъ, и отмѣчаютъ его длины, которымъ соотвѣтствуютъ тогда равные объемы. При раздѣленіи на очень большое число отрѣзковъ ошибки отчетовъ накопляются. Въ этомъ случаѣ лучше комбинировать наблюденія съ длинными и короткими столбиками. Напримѣръ, чтобы раздѣлить на 25 частей, можно сперва оперировать столбикомъ въ $^1/_5$ длины трубки и дѣлить затѣмъ полученные отрѣзки столбикомъ въ 5 разъ меньшимъ.

Результаты представляются таблицей или кривой на координатной бумагѣ (**8**), и для промежуточныхъ сѣченій интерполируются.

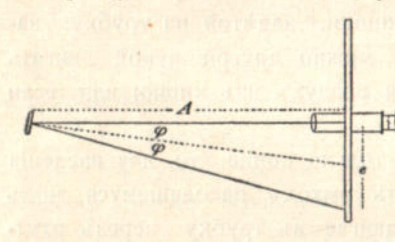
Абсолютный калибръ. Количество ртути, вѣсящее въ воздухѣ 1 *г* (**13** и **23**), занимаетъ при температурѣ t объемъ $0{\cdot}07355\ (1 + 0{\cdot}000182\,t)$ или $0{\cdot}07379\ \big(1 + 0{\cdot}000182\,(t - 18)\big)$ $см^3$.

Чтобы принять въ разсчетъ менискъ, бываетъ большей частью достаточно, въ узкихъ трубкахъ, отнимать отъ длины столбика, измѣренной между вершинами, по 0·4 высоты мениска съ каждой стороны. — Среднее сѣченіе q измѣреннаго отрѣзка, объемъ котораго v, вычисляютъ по формулѣ $q = v/l$, гдѣ l длина столбика.

25. Измѣреніе угловъ помощью зеркала и шкалы

Измѣреніе вращеній помощью зеркала и шкалы находитъ многочисленныя примѣненія. Оно примѣняется въ магнитометрахъ и гальванометрахъ (Поггендорфъ; Гауссъ). Методъ предполагаетъ, что измѣряемый уголъ малъ.

Съ вращающимся тѣломъ соединено зеркало, параллельное оси вращенія. Вблизи плоскости, описываемой при вращеніи нормалью къ зеркалу, находится шкала, раздѣленная обыкновенно на *мм*, на разстояніи, смотря по обстоятельствамъ, отъ 0·5 до 5 *м*. Или наблюдаютъ ея отраженное изображеніе въ направленную на зеркало зрительную трубу съ нитянымъ крестомъ (черт.), или направляютъ на зеркало свѣтъ отъ какого-нибудь источника, дающій по отраженіи изображеніе на шкалѣ, смѣщающееся при вращеніи (зайчикъ).



Обыкновенно даютъ шкалѣ или трубѣ (или источнику свѣта) положеніе, въ которомъ, при неотклоненномъ зеркалѣ, основаніе перпендикуляра, опущеннаго изъ зеркала на шкалу, видно, приблизительно, на нитяномъ крестѣ (или попадаетъ на зайчика). Назовемъ эту точку среднимъ дѣленіемъ шкалы. Его находятъ проще всего помощью наугольника, который прикладываютъ катетомъ къ шкалѣ такъ, чтобы, визируя въ направленіи другого катета, увидѣть на его продолженіи зеркало.

Установка трубы и шкалы. Сперва устанавливаютъ трубу, смѣщая окулярную трубку приблизительно на надлежащую дальность зрѣнія, т. е. на двойное разстояніе шкалы отъ зеркала. Затѣмъ, направляя все время трубу на зеркало, даютъ ей такое по-

ложеніе, при которомъ наблюдатель, держа глазъ вплотную у средняго дѣленія шкалы, увидитъ въ зеркалѣ объективъ трубы или, держа глазъ у трубы, — среднее дѣленіе шкалы. Тогда уже изображеніе шкалы, если оно еще не въ полѣ зрѣнія трубы, приводится туда легкимъ вращеніемъ трубы. Наконецъ, приступаютъ къ болѣе тонкой установкѣ.

Сюда относится установка на отчетливое видѣніе шкалы и нитянаго креста. Сперва устанавливаютъ на разстояніи яснаго зрѣнія нитяный крестъ, затѣмъ смѣщаютъ всю окулярную трубку до полнаго исчезновенія параллакса дѣленій шкалы относительно нитянаго креста, т. е. пока они не перестанутъ смѣщаться относительно другъ друга при боковомъ движеніи глаза предъ окуляромъ.

Надѣтая на трубу заслонка дѣлаетъ ненужнымъ закрываніе не наблюдающаго глаза.

Объективное наблюденіе. Направляютъ линзой свѣтъ отъ рѣзко очерченнаго источника свѣта (щель; нить предъ пламенемъ; элекрическая калильная лампа съ прямой нитью) на зеркало и оттуда на шкалу. Чтобы получилось дѣйствительное изображеніе, источникъ свѣта долженъ быть, во всякомъ случаѣ, за фокусомъ линзы. Правильное положеніе, при которомъ на шкалѣ получается отчетливое дѣйствительное изображеніе метки, находятъ путемъ пробъ, заботясь также о хорошей центрировкѣ линзы (**67**). Взявъ вмѣсто плоскаго зеркала вогнутое, можно обойтись безъ проэкціонной линзы. Если въ этомъ случаѣ источникъ свѣта долженъ быть на такомъ же разстояніи отъ зеркала, что и шкала, то это разстояніе слѣдуетъ выбрать равнымъ радіусу кривизны (**66**), или удвоенному фокусному разстоянію зеркала.

Вычисленіе угла и его функцій изъ отчета на шкалѣ

Допустимъ, что установка на шкалѣ неотклоненнаго зеркала и т. п. приблизительно совпадаетъ съ основаніемъ перпендикуляра, опущеннаго изъ зеркала на шкалу (съ „среднимъ" дѣленіемъ шкалы). Отклоненіемъ на шкалѣ назовемъ разность e между наблюденнымъ дѣленіемъ шкалы и этимъ положеніемъ равновѣсія.

Въ дальнѣйшемъ предполагается, что зрительная труба (при объективномъ наблюденіи—источникъ свѣта) расположена вблизи плоскости, проходящей черезъ зеркало и шкалу. Напротивъ, находится ли она вблизи средняго дѣленія шкалы, не имѣетъ никакого значенія.

1. При небольшихъ отклоненіяхъ уголъ отклоненія φ пропорціоналенъ отклоненію на шкалѣ. Притомъ, если A разстояніе отражающей по-

верхности отъ шкалы, выраженное въ дѣленіяхъ шкалы (слѣдовательно, въ *мм*, если шкала раздѣлена на *мм*), то угловое значеніе одного дѣленія шкалы въ абсолютной мѣрѣ (**1**, Nr. 3) $= 1/(2A)$; въ градусахъ и т. д.:

$$= \frac{1}{A} \cdot 28{\cdot}648^0 = \frac{1}{A}\, 1718{\cdot}9' = \frac{1}{A}\, 103132''.$$

Далѣе, $\sin\varphi = \operatorname{tg}\varphi = e/(2A)$.

2. При болѣе значительныхъ отклоненіяхъ до 6^0 достаточны для обычныхъ цѣлей выраженія

$$\varphi = \frac{28{\cdot}648^0}{A}\, e\left(1 - \tfrac{1}{3}\,\frac{e^2}{A^2}\right), \quad \operatorname{tg}\varphi = \frac{e}{2A}\left(1 - \tfrac{1}{4}\,\frac{e^2}{A^2}\right),$$

$$\sin\varphi = \frac{e}{2A}\left(1 - \tfrac{3}{8}\,\frac{e^2}{A^2}\right), \quad \sin\frac{\varphi}{2} = \frac{e}{4A}\left(1 - \tfrac{11}{32}\,\frac{e^2}{A^2}\right).$$

Такимъ образомъ по отклоненію e находятъ величину, пропорціональную углу, тангенсу, синусу, синусу половины угла, вычитая $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{3}{8}$ или $\frac{11}{32} \cdot e^3/A^2$ изъ e.

3. При любомъ отклоненіи на прямолинейной шкалѣ

$$\operatorname{tg} 2\varphi = e/A \quad \text{или} \quad \varphi = \tfrac{1}{2} \operatorname{arc\,tg}(e/A).$$

Послѣднія формулы получаются прямо изъ чертежа на стр. 72, другія разложеніемъ въ ряды φ, $\operatorname{tg}\varphi$ и т. д.

Измѣреніе разстоянія шкалы. Измѣреніе съ точностью до ± 1 *мм* посредствомъ ленточнаго масштаба, проволоки, которую потомъ измѣряютъ, или двухъ скользящихъ другъ по другу масштабовъ не представляетъ обыкновенно никакого затрудненія и является достаточнымъ въ виду того, что болѣе точное измѣреніе A потребовало бы еще нѣкоторыхъ поправокъ на толщину стекла и наклонъ зеркала.

26. Нахожденіе положенія равновѣсія изъ колебаній

Дѣленіе шкалы, на которомъ установилось бы зеркало, если бы оно было въ покоѣ, положеніе покоя или равновѣсія (напримѣръ, магнитной стрѣлки) находится изъ наблюденій надъ колеблющимся зеркаломъ слѣдующимъ образомъ.

1. Наблюденіе точекъ поворота. Если затуханіе колебаній незначительно, то положеніе равновѣсія находятъ, примѣрно, изъ трехъ слѣдующихъ одна за другой точекъ поворота, для чего берутъ среднее изъ Nr. 2 и средняго ариѳметическаго изъ Nr. 1 и Nr. 3. Или наблюдаютъ любое нечетное число точекъ поворота, берутъ среднее, съ одной стороны, изъ Nr. 1, 3, 5..., съ другой, изъ Nr. 2, 4.... и соединяютъ оба числа въ общее среднее, какъ указано было для

вѣсовъ (**10** II). При быстрыхъ колебаніяхъ можно пропускать по двѣ, примѣрно, точки поворота.

2. Наблюденіе положенія. Если движеніе стрѣлки такъ медленно, что въ каждый моментъ можно точно опредѣлить положеніе нитя наго креста на шкалѣ, то положеніе равновѣсія опредѣляется какъ ариѳметическое среднее изъ любыхъ двухъ отчетовъ, сдѣланныхъ одинъ послѣ другого черезъ промежутокъ времени, равный періоду колебанія.

3. Затухающія колебанія. При болѣе сильномъ затуханіи (благодаря, напримѣръ, мультипликатору или мѣдному демферу вокругъ магнитной стрѣлки или воздушному демферу) положеніе равновѣсія p_0 находится изъ двухъ отчетовъ, отстоящихъ на періодъ колебанія, p_1 и p_2, напримѣръ, изъ двухъ точекъ поворота, по формулѣ

$$p_0 = p_2 + (p_1 - p_2)/(1+k),$$

гдѣ k декрементъ затуханія (см. **27** и примѣръ тамъ же).

27. Затуханіе и логариѳмическій декрементъ

Затуханіе колебаній происходитъ вслѣдствіе силы сопротивленія (треніе въ воздухѣ и т. п.; электрическіе токи, наводимые движеніемъ), пропорціональной обыкновенно мгновенной скорости. Амплитуда колебанія убываетъ тогда въ постоянномъ отношеніи k, называемомъ декрементомъ затуханія; $\log k = \lambda$ называется логариѳмическимъ декрементомъ. — Точное знаніе этихъ величинъ важно особенно при нѣкоторыхъ электрическихъ измѣреніяхъ.

Опредѣленіе производится посредствомъ наблюденія ряда точекъ поворота. Разность двухъ слѣдующихъ другъ за другомъ точекъ поворота, исправленная при большихъ колебаніяхъ по **25**, даетъ дугу. Если a_p величина p-ой, a_q величина q-ой дуги, то

$$k = \left(\frac{a_p}{a_q}\right)^{\frac{1}{q-p}} \quad \text{или} \quad \lambda = \frac{\log a_p - \log a_q}{q-p}.$$

Изъ ряда поворотныхъ точекъ (лучше всего изъ нечетнаго числа ихъ) можно вывести затуханіе, какъ указываетъ примѣръ на слѣдующей страницѣ. e разстояніе точки поворота отъ средняго дѣленія шкалы (здѣсь 500). Разстояніе шкалы равно 2600 дѣленій шкалы, слѣдовательно, поправка отклоненія на приведеніе къ дугѣ равна $\frac{1}{3} e^3/2600^2$ (**25**). Изъ дугъ Nr. 1 и 4, 2 и 5 и т. д. получаются λ и k.

За вертикальной чертой проставлены положенія равновѣсія, вычисленныя каждое изъ двухъ точекъ поворота по найденному декременту $k = 1{\cdot}151$ (**26**, Nr. 3).

Наблюд. точки пов.	e	$\frac{e^3}{3 . 2600^2}$	Испр. точки пов.	Дуги a	$\frac{a}{2{\cdot}151}$	Положенія равновѣсія
285·0	215	0·5	285·5			
710·0	210	0·5	709·5	424·0	197·1	512·4
341·2	159	0·2	341·4	368·1	171·1	512·5
662·5	162	0·2	662·3	320·9	149·2	513·1
383·9	116	0·1	384·0	278·3	129·4	513·4
625·7	126	0·1	625·6	241·6	112·3	513·3
415·6	84	0·0	415·6	210·0	97·6	513·2
						512·98

Получается изъ 1 и 4 $\lambda = \frac{1}{3}$ (log 424·0 − log 278·3) = 0·0610
„ 2 „ 5 368·1 241·6 0·0610
„ 3 „ 6 320·9 210·0 0·0614

Среднее $\lambda = 0{\cdot}0611$; $k = 1{\cdot}151$

Примѣняя натуральные логариѳмы или умножая полученное выше λ на 2·3026, получаютъ важный для извѣстныхъ электрическихъ измѣреній „натуральный логариѳмическій декрементъ“.

28. Періодъ колебанія

Періодомъ колебанія маятника, магнитной стрѣлки и т. д. [1]) называютъ промежутокъ времени, протекающій отъ какого-нибудь поворота до слѣдующаго на другой сторонѣ. При медленныхъ колебаніяхъ моментъ поворота неудобенъ для опредѣленія, такъ какъ именно въ этотъ моментъ движеніе становится незамѣтнымъ. Напротивъ, черезъ точку, лежащую вблизи положенія равновѣсія, тѣло проходитъ съ наибольшей скоростью, и прохожденіе наблюдается точно. Изъ двухъ слѣдующихъ одинъ за другимъ моментовъ прохожденія черезъ одну и ту же точку (въ противоположныхъ направленіяхъ) находятъ моментъ промежуточнаго поворота какъ среднее ариѳметическое.

Намѣчаютъ точку, лежащую вблизи положенія равновѣсія (на шкалѣ, навѣсивъ достаточно замѣтную нитку); наблюдаютъ, по удару секунднаго маятника, моменты прохожденія этой точки, и берутъ прежде всего среднее изъ каждыхъ двухъ такихъ смежныхъ моментовъ. Десятыя доли секунды оцѣниваются по отношенію разстояній

[1]) Въ акустикѣ и оптикѣ періодомъ колебанія называется величина, вдвое большая.

нити отъ мѣтки въ моменты ударовъ маятника непосредственно до и послѣ прохожденія.

Вычисленіе періода колебанія. Если изъ n наблюдавшихся такимъ образомъ послѣдовательныхъ періодовъ колебанія опять взять среднее, то получился бы такой же результатъ, какъ если бы разность между первымъ и послѣднимъ моментомъ поворота раздѣлили на n. Промежуточныя наблюденія были бы, слѣдовательно, безполезны. Чтобы всѣ ихъ использовать, можно раздѣлить ихъ на двѣ половины, брать постоянно разности соотвѣтствующихъ номеровъ изъ обѣихъ половинъ, вычислять изъ нихъ ариѳметическое среднее и дѣлить его на $\frac{1}{2}n$.

Прохожденіе набл.		Моментъ поворота вычисл.			Періодъ колебанія	
мин	*сек*	Nr.	*мин*	*сек*		*сек*
10	3·3	*1.*	10	9·90	Изъ Nr. *1* и *4*	39·90 : 3 = 13·30
	16·5	*2.*		23·20		
	29·9	*3.*		36·45	*2* и *5*	40·05 : 3 = 13·35
	43·0	*4.*		49·80		
	56·6	*5.*	11	3·25	*3* и *6*	40·15 : 3 = 13·38
11	9·9	*6.*		16·60		Среднее = 13·34
	23·3					

Выгоднѣе всего опредѣлить нѣсколько моментовъ поворота, лежащихъ дальше другъ отъ друга, слѣдующимъ, напримѣръ, для опредѣленности, образомъ. Наблюдаютъ дважды (или нѣсколько разъ) по четному числу, напримѣръ, по шести послѣдовательныхъ временъ прохожденія черезъ отмѣченную точку. Затѣмъ въ каждой группѣ наблюденій берутъ изъ каждыхъ двухъ моментовъ, симметричныхъ относительно средней въ группѣ элонгаціи, ариѳметическое среднее и изъ нихъ общее среднее.

Первая группа						Вторая группа			
Прохожденіе			Среднее			Прохожденіе		Среднее	
Nr.	*мин*	*сек*	Nr.	*мин*	*сек*	*мин*	*сек*	*мин*	*сек*
1.	7	40·7				10	10·5		
2.		49·0					18 9		
3.		55·6					25·6		
4.	8	4·0	*3. 4.*	7	59·80		33·9	10	29·75
5.		10·7	*2. 5.*		59·85		40·6		29·75
6.		18·8	*1. 6.*		59·75		48·9		29·70
		Общее среднее		7	59·80			10	29·73

Оба общія среднія представляютъ моменты двухъ элонгацій настолько точно, насколько они могутъ быть получены изъ этихъ на-

блюденій. Ихъ разность ($= 149{\cdot}93$ *сек*), дѣленная на число протекшихъ между ними колебаній, даетъ періодъ колебанія. Нѣтъ надобности сосчитывать эти колебанія: число ихъ можно вывести изъ приближенной величины періода колебанія. Изъ первыхъ двухъ и послѣднихъ двухъ наблюденій первой группы находятъ моменты $7^{мин}\ 44{\cdot}8^{сек}$ и $8^{мин}\ 14{\cdot}7^{сек}$, между которыми заключены 4 колебанія. Отсюда періодъ колебанія былъ бы $29{\cdot}9 : 4 = 7{\cdot}47$ *сек*. Раздѣливъ $149{\cdot}93$ на $7{\cdot}47$, находимъ $20{\cdot}07$; слѣдовательно, искомое число колебаній, безъ сомнѣнія, 20, и періодъ колебанія $= 149{\cdot}93 : 20 = 7{\cdot}496$ *сек*.

Короткія колебанія съ періодомъ въ небольшое число секундъ лучше наблюдать въ точкахъ поворота, чѣмъ при прохожденіи чрезъ средину, и притомъ въ точкахъ поворота съ одной только стороны, причемъ, если понадобится, можно дѣлать пропуски.

Приведеніе періода колебанія къ безконечно малымъ дугамъ

Періодъ колебанія массы, движимой упругостью крученія, не зависитъ отъ амплитуды. Чаще однако бываетъ (магнитная стрѣлка, маятникъ), что моментъ вращенія пропорціоналенъ синусу угла отклоненія. Тогда періодъ колебанія t возрастаетъ съ амплитудой α по формулѣ

$$t = t_0 \left(1 + \tfrac{1}{4} \sin^2 \tfrac{1}{4}\alpha + \tfrac{9}{64} \sin^4 \tfrac{1}{4}\alpha + \ldots\right).$$

Почти всегда ищутъ предѣлъ t_0, къ которому стремится періодъ колебанія, если амплитуда становится исчезающе малой. Объ относящейся сюда поправкѣ смотри, для большихъ колебаній, табл. 15. Такъ какъ при малыхъ наблюдаемыхъ зеркаломъ амплитудахъ въ p дѣленій шкалы можно положить $\tfrac{1}{4} \sin^2 \tfrac{1}{4}\alpha = \tfrac{1}{4}\left(\tfrac{1}{4}\dfrac{p}{2A}\right)^2 = \dfrac{1}{256\,A^2}p^2$, гдѣ A разстояніе шкалы, а слѣдующіе члены исчезаютъ, то можно здѣсь изъ наблюденнаго t вычесть $t\dfrac{1}{256\,A^2}p^2$.

О сильно затухающихъ колебаніяхъ см. выше.

29. Моментъ инерціи

Моментъ инерціи имѣетъ для вращенія то же значеніе, что масса для поступательнаго движенія. О примѣненіяхъ смотри, напримѣръ, маятникъ, модуль крученія, магнитныя стрѣлки, вращающіяся катушки.

Моментъ инерціи массы m, сосредоточенной въ точкѣ на разстояніи l отъ оси вращенія, есть $l^2 m$. Единица момента инерціи въ системѣ CGS равна, слѣдовательно, [$см^2 г$]. (См. **1**, Nr. 12). Моментъ инерціи нѣсколькихъ неподвижно связанныхъ между собою точекъ или тѣла есть сумма или интегралъ отъ этого выраженія, распространенный по всѣмъ элементамъ тѣла.

Періодъ колебанія t, направляющая сила D и моментъ инерціи K связаны формулой $t^2/\pi^2 = K/D$; см. **1**, Nr. 12.

I. Вычисленіе

Моментъ инерціи однородныхъ тѣлъ правильной формы можетъ быть найденъ вычисленіемъ. Пусть m означаетъ всегда массу тѣла, K моментъ инерціи его, отнесенный къ оси, проходящей черезъ центръ тяжести.

Тонкій стержень длины l. Относительно оси, перпендикулярной къ стержню, $K = \frac{1}{12} ml^2$.

Прямоугольный параллелепипедъ. Пусть a и b два ребра его. Относительно оси, параллельной третьему ребру, $K = \frac{1}{12} m \cdot (a^2 + b^2)$.

Цилиндръ (также дискъ) радіуса r. Относительно оси цилиндра $K = \frac{1}{2} mr^2$.

Относительно діаметра средняго сѣченія цилиндра, если l длина цилиндра, $K = m(\frac{1}{12} l^2 + \frac{1}{4} r^2)$.

Шаръ радіуса r. $K = \frac{2}{5} mr^2$.

Вспомогательное правило. Если K моментъ инерціи, отнесенный къ оси, проходящей черезъ центръ тяжести, а K' — къ оси, параллельной первой и находящейся на разстояніи a, то $K' = K + ma^2$. Напримѣръ, моментъ инерціи тонкаго стержня относительно оси, перпендикулярной къ стержню и проходящей черезъ его конецъ, равенъ $\frac{1}{12} ml^2 + \frac{1}{4} ml^2 = \frac{1}{3} ml^2$.

II. Опредѣленіе изъ періода колебанія съ нагрузкой и безъ нея (по Гауссу)

Способъ примѣнимъ къ тѣламъ, колеблющимся подъ дѣйствіемъ постоянной направляющей силы около вертикальной оси, особенно, слѣдовательно, къ магнитамъ. Другимъ тѣламъ можно сообщить постоянную направляющую силу въ формѣ упругости крученія подвѣсной (стальной) проволоки.

Наблюдаютъ періодъ колебанія t, увеличиваютъ затѣмъ моментъ инерціи, не мѣняя вращающихъ силъ, на извѣстную значительную величину K_1 и наблюдаютъ снова періодъ колебанія t'. Тогда искомый моментъ инерціи

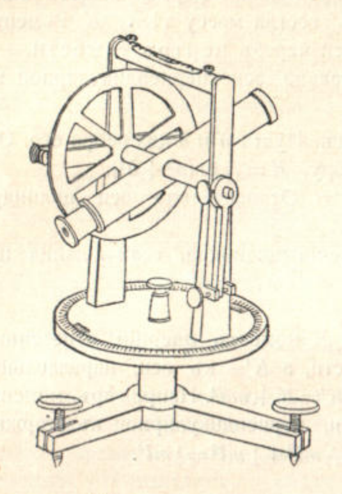
$$K = K_1 \,.\, t^2/(t'^2 - t^2).$$

Такъ какъ $t^2 : t'^2 = K : (K + K_1)$.

Добавочный моментъ инерціи K_1 можетъ состоять, напримѣръ, изъ двухъ равныхъ массъ (въ суммѣ $= m$), подвѣшенныхъ на короткихъ ниткахъ на равныхъ разстояніяхъ (l) отъ оси вращенія; для l берутъ половину измѣреннаго разстоянія между нитями. По вспомогательному правилу, данному выше, $K_1 = ml^2 + K_0$, гдѣ K_0 представляетъ сумму моментовъ инерціи обѣихъ массъ относительно ихъ

подвѣсныхъ нитей; въ случаѣ цилиндровъ, слѣдовательно, $K_0 = \frac{1}{2} mr^2$, шаровъ $= \frac{2}{5} mr^2$, гдѣ r въ обоихъ случаяхъ радіусъ.

30. Теодолитъ или универсальный инструментъ



Зрительная труба, вращающаяся около двухъ взаимно перпендикулярныхъ осей при раздѣленныхъ кругахъ, служитъ для измѣренія высотъ и азимутовъ, т. е. угловъ между вертикальными плоскостями, въ которыхъ лежатъ визируемыя точки. Для этой цѣли одна ось должна быть вертикальной, другая горизонтальной; направленіе визированія должно быть перпендикулярно къ послѣдней.

Чтобы исключить вліяніе эксцентричности раздѣленнаго круга, дѣлаютъ отчеты всегда у обоихъ діаметрально противоположныхъ ноніусовъ. При вычисленіи берутъ цѣлые градусы всегда отъ ноніуса I и только для долей градуса составляютъ среднее изъ обоихъ отчетовъ.

1. Вертикальная ось. Ось вращенія вертикальна, если пузырекъ уровня не мѣняетъ при вращеніи около этой оси своего положенія относительно дѣленій: ставятъ уровень сперва параллельно линіи, соединяющей два установочныхъ винта и при помощи послѣднихъ приводятъ пузырекъ къ рединѣ. Затѣмъ повертываютъ на 180⁰ и, если пузырекъ занялъ теперь другое положеніе, исправляютъ половину смѣщенія установочными винтами. Наконецъ, повертываютъ на 90⁰ и приводятъ пузырекъ третьимъ винтомъ въ положеніе, которое онъ только что оставилъ. Если послѣ перваго раза все еще остается погрѣшность, то пріемъ этотъ повторяютъ.

Что прежде всего слѣдуетъ исправить грубыя погрѣшности въ самомъ уровнѣ, и что нулевое положеніе пузырька удобнѣе всего принять за нормальное, — понятно само собою.

Горизонтальная ось. Ставятъ уровень на цапфы и замѣчаютъ его установку, затѣмъ перекладываютъ его на цапфахъ и снова дѣлаютъ отчетъ. Если оба отчета не согласуются между собой, то слѣдуетъ исправить половину разности установочными винтами, чтобы установить ось горизонтально. При этомъ предполагается,

что обѣ цапфы одинаковой толщины; для провѣрки этого перекладываютъ трубу на ея ложахъ вмѣстѣ съ уровнемъ.

3. Испытаніе, перпендикулярна ли оптическая ось трубы къ ея оси вращенія (коллимаціонная ошибка). Наводятъ на далекій предметъ, лежащій приблизительно въ горизонтальной плоскости прибора, поворачиваютъ горизонтальный кругъ точно на 180° и устанавливаютъ трубу, перекладывая, снова въ ея прежнемъ направленіи. Сохраненіе въ точности прежней установки предмета свидѣтельствуетъ объ отсутствіи коллимаціонной ошибки. Если найдена разница, то исправляютъ ее на половину смѣщеніемъ нитяного креста, послѣ чего испытаніе повторяютъ.

4. Измѣреніе абсолютной высоты. Горизонтальная и зенитная точки. Предположимъ, что приборъ установленъ по Nr. 1—3. Наводятъ на предметъ и дѣлаютъ отчетъ на кругѣ высотъ; поворачиваютъ вертикальную ось на 180°, перекладываютъ трубу, снова наводятъ и дѣлаютъ отчетъ на кругѣ высотъ. Разность (знакъ!) обоихъ отчетовъ даетъ удвоенное зенитное разстояніе объекта. Вычтя, слѣдовательно, полуразность изъ 90°, получимъ высоту предмета надъ горизонтомъ.

Среднее ариѳметическое изъ обоихъ отчетовъ даетъ зенитную точку круга высотъ; прибавивъ къ зенитной точкѣ 90°, получимъ горизонтальную точку.

Къ свѣтиламъ эти пріемы непосредственно примѣнимы во время кульминаціи. Въ другое время, если установки выполняются быстро одна за другой, получается высота для момента, средняго между обоими наблюденіями.

Уголъ между двумя предметами. Угловое разстояніе w находится изъ высотъ h и h' и взаимнаго азимута A обоихъ предметовъ по уравненію $\cos w = \sin h \sin h' + \cos h \cos h' . \cos A$.

31. Опредѣленіе меридіана мѣста по наблюденіямъ надъ солнцемъ

Меридіанъ есть вертикальная плоскость, въ которой лежитъ центръ солнечнаго диска въ истинный полдень, или вертикальная плоскость, дѣлящая пополамъ уголъ между двумя азимутами свѣтила, которымъ соотвѣтствуетъ одна и та же высота, если за это время не произошло никакихъ измѣненій высоты вслѣдствіе собственнаго движенія свѣтила.

Изъ наблюденій соотвѣтствующихъ высотъ.

Наводятъ теодолитъ, ось вращенія котораго установлена вертикально (**30,** 1), до полудня на лѣвый, допустимъ, край солнца, причемъ горизонтальная нить касается верхняго, напримѣръ, края, и дѣлаютъ отчетъ на горизонтальномъ кругѣ. Ничего не измѣняя въ установкѣ на кругѣ высотъ, наводятъ послѣ полудня такимъ же образомъ на правый край солнца въ тотъ моментъ, когда верхній край снова касается горизонтальной нити. Кругъ высотъ ненуженъ.

Въ интересахъ точности поднятіе солнца должно происходить быстро, слѣдовательно, солнце должно быть не слишкомъ близко къ меридіану.

Во время солнцестояній склоненіе солнца мѣняется такъ мало, что равнодѣлящая угла между обѣими установками и даетъ меридіанъ; въ другое время, однако, вслѣдствіе измѣненія склоненія солнца требуется слѣдующая „меридіанальная поправка".

Пусть τ половина промежутка времени между обоими наблюденіями, выраженная въ часахъ. Далѣе, ϵ измѣненіе солнечнаго склоненія за сутки (табл. 26 или пятизначные логариѳмы Бремикера стр. 141), слѣдовательно, $\epsilon\tau/24$ представляетъ измѣненіе за время τ. Тогда меридіанальная поправка равна

$$\frac{1}{\cos\varphi}\,\frac{\epsilon\tau}{24}\,\frac{1}{\sin(15\tau)^0},$$

гдѣ φ высота полюса (географическая широта). Для среднихъ европейскихъ широтъ и при наблюденіяхъ между 8 и 10 часами утра и, соотвѣтственно, 2 и 4 часами пополудни достаточно, въ предѣлахъ точности до минуты дуги, положить поправку равной $0{\cdot}27.\epsilon$.

Весной меридіанъ лежитъ, понятно, восточнѣе, осенью западнѣе найденной срединной линіи.

Изъ наблюденія солнца въ полдень.

Если извѣстно абсолютное время (**33**), то меридіанъ опредѣляется изъ наблюденія центра солнечнаго диска въ полдень „истиннаго" солнечнаго времени (= среднему мѣстному времени минусъ уравненіе времени, табл. 26). При этомъ наводятъ теодолитъ на западный или восточный край солнца и наблюденный азимутъ исправляютъ, прибавляя къ востоку или западу уголъ

$$\Delta = 0{\cdot}27^0/\sin(\varphi - \delta).$$

$0{\cdot}27^0$ радіусъ, δ склоненіе солнца (табл. 26), φ высота полюса.

32. Высота полюса мѣста

Географическая широта мѣста или высота полюса опредѣляется легче всего изъ высоты звѣзды при ея кульминаціи. Если меридіанъ уже извѣстенъ (**31**), то наблюдаютъ при прохожденіи черезъ него; въ противномъ случаѣ слѣдуютъ трубой за объектомъ вблизи меридіана и замѣчаютъ наивысшее положеніе.

Вслѣдствіе преломленія лучей въ атмосферѣ наблюденная высота должна быть уменьшена на „рефракцію", которую берутъ изъ табл. 28. Если h исправленная такимъ образомъ высота, а δ склоненіе звѣзды, то высота полюса

$$\varphi = 90^0 - h + \delta.$$

Наблюдая по солнцу, наводятъ на верхній или нижній край и уменьшаютъ или увеличиваютъ h на радіусъ солнца $0{\cdot}27^0$. О склоненіи солнца см. ниже и табл. 26.

33. Опредѣленіе времени по высотамъ солнца

Моментъ прохожденія солнца черезъ меридіанъ называется видимымъ или истиннымъ полднемъ. Время, опредѣляемое по положенію солнца относительно меридіана, называется солнечнымъ временемъ. Изъ него получаютъ среднее мѣстное время, прибавляя „уравненіе времени", мѣняющееся со временемъ года по величинѣ и знаку (табл. 26).

Съ другой стороны, мѣстное среднее время для l^0 восточной долготы отъ Гринвича получается изъ среднеевропейскаго времени, т. е. изъ времени на меридіанѣ 15^0 къ востоку отъ Гринвича, прибавленіемъ $(l - 15^0) \times 4$ *мин*, вслѣдствіе чего можно также сказать: солнечное время равно среднеевропейскому плюсъ $(l - 15^0) \times 4$ *мин* минусъ уравненіе времени.

Уравненіе времени, какъ и необходимое для вычисленія склоненіе (уголъ съ небеснымъ экваторомъ) центра солнечнаго диска, берутъ изъ таблицы 26 или изъ болѣе подробной таблицы въ началѣ пятизначныхъ логариѳмовъ Бремикера. Вслѣдствіе періодическаго, выравниваемаго високоснымъ годомъ передвиженія начала весны, одна и та же таблица не можетъ годиться для каждаго года. Прибавляемая къ среднеевропейскому (вокзальному) времени поправка k, различная для каждаго года, находится въ табл. 27. Съ этимъ исправленнымъ такимъ образомъ временемъ, выраженнымъ въ дробныхъ доляхъ сутокъ съ точностью однако не болѣе 5 минутъ, обращаются къ табл. 26.

I. По высотѣ для одного момента времени

Для мѣста наблюденія, географическая долгота и широта котораго извѣстны, простымъ средствомъ для опредѣленія времени является измѣреніе высоты солнца надъ горизонтомъ, выполняемое при

помощи секстанта или теодолита установкой на верхній или нижній край. Наиболѣе благопріятно время, когда свѣтило быстро мѣняетъ свою высоту, слѣдовательно, когда оно возможно дальше отстоитъ отъ меридіана. Чѣмъ ближе къ полдню, тѣмъ менѣе точно опредѣленіе. Если

φ географическая широта или высота полюса мѣста (табл. 25),

δ склоненіе солнца во время наблюденія (см. слѣд. стр.),

h истинная высота центра солнечнаго диска,

то часовой уголъ t солнца и „солнечное время" въ моментъ наблюденія получается изъ формулы

$$\cos t = \frac{\sin h - \sin\varphi \sin\delta}{\cos\varphi \cos\delta}.$$

Если часовой уголъ t опредѣленъ изъ тригонометрическихъ таблицъ въ дуговыхъ градусахъ, то, чтобы получить солнечное время въ часахъ, его слѣдуетъ раздѣлить на 15. t берется до полудня съ отрицательнымъ знакомъ, послѣ полудня съ положительнымъ.

Изъ сферическаго треугольника, образуемаго меридіаномъ, кругомъ высоты и кругомъ склоненія свѣтила, со сторонами $90-\varphi$, $90-h$ и $90-\delta$, причемъ часовой уголъ t лежитъ противъ стороны $90-h$, получается $\sin h = \sin\varphi \sin\delta + \cos\varphi \cos\delta \,.\, \cos t$. Отсюда вытекаетъ предыдущая формула.

Поправки. Изъ наблюденной высоты, которая больше истинной вслѣдствіе преломленія лучей въ атмосферѣ, слѣдуетъ вычесть рефракцію, которую берутъ изъ табл. 28. Послѣ этого прибавляютъ или вычитаютъ радіусъ солнца $= 0{\cdot}27^0$.

Географическія широты находятся въ табл. 25, но могутъ быть также взяты съ точностью до $0{\cdot}01^0$ изъ хорошей карты. Объ опредѣленіи ихъ смотри въ **32**.

О склоненіи солнца и переводѣ солнечнаго времени въ мѣстное или среднеевропейское смотри въ началѣ.

II. Изъ наблюденій соотвѣтствующихъ высотъ.

Пусть свѣтило проходитъ до и послѣ кульминаціи черезъ горизонтальную нить зрительной трубы, установленной на одну и ту же высоту. Ариѳметическое среднее изъ обоихъ замѣченныхъ на часахъ временъ даетъ для свѣтила, не обладающаго собственнымъ движеніемъ, моментъ его кульминаціи.

Для солнца это вѣрно только въ дни стояній, когда названное среднее даетъ, слѣдовательно, прямо солнечный полдень. Вообще вслѣдствіе суточнаго измѣненія склоненія солнца, входитъ еще „полуденная поправка", такъ какъ солнце стоитъ на наибольшей высотѣ

въ первомъ полугодіи нѣсколько послѣ истиннаго полдня, во второмъ раньше.

Пусть снова φ мѣстная высота полюса, δ солнечное склоненіе и ϵ его суточное измѣненіе въ градусахъ (табл. 26 или пятизначные логариѳмы Бремикера). Наконецъ, пусть τ половина промежутка времени между обоими наблюденіями, выраженнаго въ часахъ (слѣдовательно, $\pm 15\tau$ часовой уголъ солнца въ градусахъ). Тогда полуденная поправка, въ секундахъ времени, будетъ

$$10\,\epsilon\tau(\operatorname{tg}\varphi - \operatorname{tg}\delta\cos 15\tau)/\sin 15\tau.$$

О переходѣ отъ солнечнаго полдня къ гражданскому смотри въ началѣ.

Въ инструментальномъ отношеніи это опредѣленіе времени очень просто, требуя, кромѣ равномѣрно идущихъ часовъ, только наличности зрительной трубы съ вертикальной осью вращенія (**30**, 1), безъ раздѣленнаго круга, лишь бы ее можно было укрѣплять подъ желаемымъ угломъ къ горизонту. На преломленіе лучей въ атмосферѣ не обращаютъ обыкновенно никакого вниманія; наблюдая по солнцу, устанавливаютъ каждый разъ на одинъ и тотъ же край; приводить наблюденія къ центру не нужно.

Въ интересахъ отчетливаго опредѣленія времени наблюдаютъ подальше отъ меридіана.

34. Опредѣленіе хода часовъ

Наблюденія надъ звѣздами

Между двумя прохожденіями звѣзды черезъ одну и ту же точку проходятъ звѣздныя сутки, которыя короче среднихъ сутокъ на 3 *мин* 55·9 *сек*. Наблюдаютъ, напримѣръ, на вертикальной нити укрѣпленной неподвижно зрительный трубы, звѣзду вблизи меридіана нѣсколько дней и сравниваютъ времена прохожденія, принимая въ разсчетъ суточное упрежденіе звѣзды, съ показаніями часовъ.

Проще всего, легко достигая притомъ точности до 1 *сек*, наблюдать невооруженнымъ глазомъ исчезновеніе или появленіе звѣзды изъ-за отдаленнаго земного предмета. Если послѣдній находится на разстояніи, по крайней мѣрѣ, 100 *м*, то для фиксированія глаза въ опредѣленной точкѣ можетъ служить край оконной крестовины и т. п. Нагрѣтыя дымовыя трубы и т. п. непригодны въ качествѣ покрывающихъ звѣзду предметовъ.

Лучше всего выбирать звѣзды близкія къ экватору, слѣдовательно, быстро движущіяся.

Наблюденія надъ солнцемъ

Два послѣдовательныхъ прохожденія солнца черезъ меридіанъ даютъ, если принять во вниманіе суточное измѣненіе уравненія времени (см. стр. 83 и табл. 26), продолжительность среднихъ сутокъ. Точное знаніе меридіана не требуется; постоянная ошибка въ 1^0 вноситъ въ наблюденную продолжительность сутокъ погрѣшность не болѣе, чѣмъ въ двѣ, приблизительно, секунды.

Для наблюденія можетъ служить неподвижно установленная зрительная труба съ горизонтальной осью вращенія, причемъ наблюдаютъ первый и послѣдній моменты соприкосновенія солнца съ нитянымъ крестомъ.

Можно также, съ точностью до нѣсколькихъ секундъ, наблюдать моментъ, когда средина движущейся тѣни отвѣса или маленькаго изображенія солнца черезъ узкое отверстіе окажется на чертѣ, проведенной на полу или противоположной стѣнѣ.

Разъ найденное абсолютное время можно этими простыми средствами зафиксировать.

35. Ускореніе силы тяжести. Длина секунднаго маятника

Ускореніе силы тяжести g есть приращеніе скорости свободно падающаго тѣла за 1 *сек.* На уровнѣ моря подъ 45^0 широты $g = 980{\cdot}6$; подъ широтой φ и на высотѣ H метровъ надъ уровнемъ моря

$$g = 980{\cdot}6\,(1 - 0{\cdot}0026 \,.\, \cos 2\varphi - 0{\cdot}0000002 \,.\, H)\,\textit{см/сек}^2.$$

Вліяніе высоты такимъ образомъ незначительно. При $H = 0$ формула даетъ для географическихъ широтъ φ:

φ =	0^0	10	20	30	40	50	60	70	80	90^0
g =	978·1	978·2	978·7	979·3	980·2	981·1	981·9	982·6	983·0	983·2 *см/сек*².

Мѣстныя аномаліи обыкновенно меньше 0·2.

При очень малой амплитудѣ періодъ колебанія математическаго маятника длины l равенъ $\pi\sqrt{\dfrac{l}{g}}$, маятника любого вида $= \pi\sqrt{\dfrac{K}{D}}$ (см. **1**, 12); K моментъ инерціи, D „направляющая сила" (**1**, 11a), т. е. $D = a \,.\, gM$, гдѣ a представляетъ разстояніе центра тяжести отъ оси вращенія, а M — колеблющуюся массу.

Точка маятника, которая качалась бы, если бы она была одна только, съ тѣмъ же періодомъ колебанія, называется центромъ качанія.

Опредѣленіе g помощью маятника. Вообще не легко опредѣлить g точнѣе, чѣмъ оно вычисляется изъ приведенной выше формулы. Для упражненія предлагаемъ описанное ниже измѣреніе помощью нитянаго маятника. Хорошо обточенный, возможно тяжелый шарикъ діаметромъ около 2 *см* подвѣшенъ на легкой, мягкой ниткѣ, перекинутой черезъ лезвіе, причемъ виситъ уже столько времени, что длина маятника вполнѣ установилась. Эта длина l считается отъ лезвія до центра шарика и измѣряется, слѣдовательно, какъ среднее ариѳметическое изъ разстояній до верхней и нижней точекъ шарика, — помощью зеркальнаго масштаба (**21**, 1) или катетометра (**22**).

Періодъ колебанія τ. Если за t *сек* происходитъ k колебаній, то $\tau = t/k$. Если длина выбрана между 99 и 100 *см*, то періодъ близокъ къ секундѣ, и наблюденія ведутъ по методу совпаденій. Если между двумя послѣдовательными совпаденіями колебанія маятника съ секунднымъ маятникомъ прошло n *сек*, то

$$\tau = \frac{n}{n-1} \quad \text{или} \quad \tau = \frac{n}{n+1},$$

смотря по тому, отстаетъ ли маятникъ отъ часовъ или обгоняетъ ихъ. Совпаденіе наблюдаютъ глазомъ или по слуху, относя его къ повороту маятника или прохожденію имъ средняго положенія.

Поправки къ наблюденному періоду колебанія τ

1) Амплитуда, α. Для α достаточно, по большей части, взять среднее изъ начальной и конечной амплитудъ. Согласно съ формулой въ **28**, наблюденный періодъ колебанія слѣдуетъ раздѣлить на $1 + \frac{1}{4}\sin^2\frac{1}{4}\alpha$. Въ виду малости поправки можно вмѣсто этого (формула 4, стр. 27) вычесть изъ τ величину $\tau \cdot \frac{1}{4}\sin^2\frac{1}{4}\alpha$. Смотри табл. 15.

2) Моментъ инерціи шара. Шаръ радіуса r колеблется медленнѣе, чѣмъ колебалась бы матеріальная точка съ той же массой. Поправка $= -\tau \cdot \frac{1}{5} r^2/l^2$.

3) Нить. Соколеблющаяся нить уменьшаетъ періодъ колебанія шара. Поправка $= +\tau \cdot \frac{1}{12}\mu/m$, гдѣ μ и m массы нити и шара.

Доказательство къ 2 и 3. Періодъ колебанія математическаго маятника длины l былъ бы $\tau_0 = \pi\sqrt{l/g}$; для нашего маятника, съ моментомъ инерціи K (**29**) и направляющей силой D (см. выше и стр. 79), имѣемъ

$$\tau = \pi\sqrt{\frac{K}{D}} = \pi\sqrt{\frac{l^2 m + \frac{2}{5} r^2 m + \frac{1}{3} l^2 \mu}{g\,(lm + \frac{1}{2} l\,\mu)}} = \pi\sqrt{\frac{l}{g}} \cdot \sqrt{\frac{1 + \frac{2}{5} r^2/l^2 + \frac{1}{3}\mu/m}{1 + \frac{1}{2}\mu/m}}.$$

Искомый періодъ колебанія математическаго маятника съ невѣсомой нитью

равенъ поэтому τ, умноженному на $\sqrt{\dfrac{1+\frac{1}{2}\mu/m}{1+\frac{2}{5}r^2/l^2+\frac{1}{3}\mu/m}}$ или, по формулѣ 8 стр. 27, на $\sqrt{1-\frac{2}{5}r^2/l^2+\frac{1}{6}\mu/m}$; послѣднее же выраженіе, по формулѣ 3 стр. 27, равно $1-\frac{1}{5}r^2/l^2+\frac{1}{12}\mu/m$, что и требовалось доказать.

4) Потеря вѣса въ воздухѣ. Вѣсъ шара въ пустотѣ былъ бы въ $1+\lambda/s$ больше, гдѣ λ и s плотности воздуха (**18**) и шарика (табл. 2). Поправка періода колебанія $= -\tau \cdot \frac{1}{2}\lambda/s$.
среднее.

5) Неоднородность шара. Подвѣшиваютъ шарикъ, перевернувъ его нижнимъ полушаріемъ вверхъ, снова наблюдаютъ и берутъ среднее.

Обозначимъ исправленный такимъ образомъ періодъ колебанія черезъ τ_0; тогда $g=\pi^2 l/\tau_0^2$. Длина l_s секунднаго маятника была бы $l_s = l/\tau_0^2$.

Оборотный маятникъ. Въ немъ двѣ оси подвѣса. Если перестановкой или измѣненіемъ распредѣленія массъ онѣ подрегулированы такъ, что для обѣихъ періодъ колебанія τ остается одинъ и тотъ же, то (см. стр. 86, 87), опять $g=\pi^2 l/\tau^2$, гдѣ l разстояніе между ними.

ДАВЛЕНІЕ

36. Измѣреніе давленія. Манометръ

Съ измѣреніями давленія имѣютъ дѣло преимущественно въ жидкостяхъ и газахъ. Величина давленія представляется силой, дѣйствующей перпендикулярно на единицу площади. Для точнаго измѣренія служитъ обыкновенно высота жидкости.

Жидкостный манометръ. Столбъ, высота котораго h сантиметровъ и удѣльный вѣсъ s, производитъ давленіе hs *г*-вѣсъ / *см*^{2} или въ абсолютной мѣрѣ $= ghs$ *динъ* / *см*^{2}; g ускореніе силы тяжести въ *см* / *сек*^{2}; подъ 45^0 широты $g = 980{\cdot}6$ (см. **35**).

Изъ жидкостей чаще всего употребляются ртуть и вода, также глицеринъ ($s = 1{\cdot}26$). Давленіе, производимое 760 *мм* ртути при 0^0, строго говоря, подъ 45^0 широты, называется атмосферой. Послѣдняя соотвѣтствуетъ такимъ образомъ давленію въ $76 . 13{\cdot}596 = 1033{\cdot}3$ *г*-вѣсъ / *см*^{2}, или $980{\cdot}6 . 76 . 13{\cdot}596 = 1013200$ *динъ* / *см*^{2}; для широты 50^0 годится число 1013800.

Изъ наблюденной высоты h жидкости удѣльнаго вѣса s можно получить высоту h' другой жидкости s', которая производила бы то же давленіе, по формулѣ $h' = hs / s'$. Высота ртути h, измѣренная при температурѣ t, приводится къ t' умноженіемъ на факторъ $1 + 0{\cdot}000182\,(t' - t)$, равный здѣсь s / s'; см. стр. 72.

Отчетъ. Проэктируютъ столбъ жидкости на поставленный сзади масштабъ или глазомъ, устраняя параллаксъ зеркаломъ, или съ помощью параллельно передвигаемой зрительной трубы; или измѣряютъ катетометромъ (**22**). Отчитываютъ всегда горизонтальную касательную къ мениску, слѣдовательно, на поверхности ртути — высшее мѣсто, другихъ жидкостей — низшее. Часто бываетъ трудно различить вершину мениска; для облегченія можетъ служить стальное остріе, помѣщенное у самой поверхности ртути; въ этомъ случаѣ наводятъ на средину между нимъ и его зеркальнымъ изображеніемъ.

Поправка на капиллярность. Если трубка не на столько широка, чтобы средняя часть поверхности была плоской, то капил-

лярное давленіе, обусловленное кривизной поверхности (**58**), сказывается: наблюденная вершина мениска лежитъ при выпуклой поверхности ниже, при вогнутой выше, чѣмъ слѣдуетъ. Поправка на это капиллярное пониженіе или повышеніе возрастаетъ съ уменьшеніемъ ширины трубки, но вслѣдствіе измѣняемости краевого угла не можетъ быть представлена функціей одной только ширины трубки. Измѣривъ, кромѣ ширины трубки у мѣста, гдѣ расположенъ менискъ, высоту его, можно взять величину капиллярной депрессіи изъ табл. 10. При ширинѣ трубки въ 15 *мм* она можетъ быть, самое большее, 0·1 *мм*.

Поршневой манометръ. Измѣряютъ давленіе вѣсомъ P, которымъ нужно нагрузить поршень съ сѣченіемъ Q, чтобы удержать его въ равновѣсіи: давленіе $= P / Q$.

Газовый манометръ. Давленіе передается запертому въ раздѣленной трубкѣ нѣкоторому количеству газа черезъ жидкость, не абсорбирующую этого газа. Давленіе обратно пропорціонально объему. Въ случаѣ надобности, можно принять въ разсчетъ и измѣняющуюся высоту уровня запирающей жидкости. Чувствительность измѣренія уменьшается пропорціонально увеличенію давленія. Для большихъ давленій должны быть извѣстны отступленія газа отъ закона Маріотта.

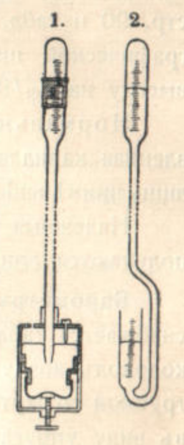
37. Атмосферное давленіе (барометрическая высота)

Точное измѣреніе давленія воздуха, помимо его значенія для метеорологіи и проч., необходимо при измѣреніяхъ высотъ барометромъ, для опредѣленія плотности воздуха, газовъ и паровъ, упругости паровъ, точекъ кипѣнія, при испытаніи термометровъ.

Подъ барометрической высотой понимаютъ высоту столба ртути при 0^0, уравновѣшиваемаго давленіемъ воздуха. Вслѣдствіе измѣненій въ напряженіи тяжести, достигающихъ, $\frac{1}{2}\,^0/_0$, при точныхъ опредѣленіяхъ добавляютъ, что сила тяжести, дѣйствующая на ртуть, должна быть та же, что подъ 45^0 широты на уровнѣ моря.

Воздухъ или водяной паръ надъ ртутью уменьшаютъ высоту барометра вслѣдствіе ихъ собственной упругости. Въ отсутствіи воздуха убѣждаются по рѣзкому звуку, съ которымъ ртуть при наклоненіи прибора ударяется о верхъ трубки. Труднѣе констатировать присутствіе паровъ воды, которые лишь при сравнительно большихъ количествахъ отлагаются въ видѣ замѣтнаго слоя на стеклѣ при наклоненіи прибора.

Въ сифонномъ барометрѣ (рис. 2) отчитываютъ оба мениска и берутъ разность ихъ уровней. Въ чашечномъ барометрѣ (рис. 1) устанавливаютъ нуль шкалы, обозначенный стальнымъ или слоновой кости остріемъ, на соприкосновеніе съ нижней поверхностью ртути, отчетливо наблюдающееся по отраженію, и дѣлаютъ вверху отчетъ.



Отчетъ мениска дѣлается невооруженнымъ глазомъ или посредствомъ установки подвижного индекса, съ примѣненіемъ зеркала для устраненія параллакса (**21**), или съ помощью приспособленія для визированія изъ натянутыхъ нитей, или микроскопомъ. Барометрическую трубку безъ шкалы наблюдаютъ катетометромъ (**22**). О ноніусѣ смотри **21**.

Вслѣдствіе тренія ртути постукиваютъ по трубкѣ или наклоняютъ ее предъ отчетомъ.

Барометрическіе отчеты требуютъ слѣдующихъ поправокъ:

Температура. Ртуть расширяется на каждый 1^0 C на 0·000182 своего объема. Если поэтому l высота барометра, отчитанная при температурѣ t, то приведенная къ 0^0 (**6**, примѣръ Nr. 2) будетъ

$$b = l - 0{\cdot}000182\, l t.$$

Одновременно съ этимъ приводятъ и шкалу къ ея нормальной температурѣ, за которую принимаютъ также 0^0, для чего добавляютъ $\beta t . l$, гдѣ β коэффиціентъ расширенія шкалы (0·000019 для латуни; 0·000008 для стекла). Слѣдовательно, вполнѣ исправленная на температуру барометрическая высота равна

$$b = l - (0{\cdot}000182 - \beta)\, l t.$$

Общая поправка равна, слѣдовательно, для латунной шкалы $-0{\cdot}000163\, l t$, для стеклянной $-0{\cdot}000174\, l t$. Численныя значенія въ первомъ случаѣ смотри въ табл. 8.

При обыкновенной барометрической высотѣ поправка составляетъ около $\frac{1}{8}$ *мм* на 1^0, и часто бываетъ достаточно вычесть изъ наблюденной высоты $\frac{1}{8}\, t$ *мм*.

О капиллярной депрессіи въ чашечномъ барометрѣ см. стр. 90 и табл. 10. — Въ случаѣ приведенія къ вѣсу подъ 45^0 географической широты умножаютъ наблюденную подъ широтой φ высоту на $g_\varphi/980{\cdot}6$; см. **35**.

Нормальный барометръ. Ненадежность показаній, обусловленная капиллярной депрессіей, можетъ быть вполнѣ устранена лишь примѣненіемъ широкой (25 *мм*) трубки, исключающей депрессію.

Надежныя поправки къ прибору для постояннаго употребленія получаются лишь путемъ сравненія съ нормальнымъ барометромъ.

Барометръ-анероидъ вывѣряется сравненіемъ со ртутнымъ или снабжается таблицей поправокъ. Ставятъ, напримѣръ, приборъ подъ колоколъ воздушнаго насоса, соединенный съ достаточно широкой трубкой со ртутью (открытый манометръ). Выждавъ нѣкоторое время, въ виду упругаго послѣдѣйствія, которое сказывается, какъ ошибка, на измѣреніяхъ анероидомъ быстро мѣняющихся барометрическихъ состояній, замѣчаютъ показаніе анероида, разность уровней въ манометрѣ и наружную барометрическую высоту. Приведя показанія барометра и манометра къ 0^0 и взявъ ихъ разность, получаютъ барометрическую высоту, соотвѣтствующую показанію анероида. Температурная поправка анероида опредѣляется эмпирически.

38. Барометрическое измѣреніе высотъ

Съ возрастаніемъ высоты гидростатическое давленіе воздуха уменьшается. Съ поднятіемъ столбикъ ртути, уравновѣшивающій давленіе воздуха, уменьшается на длину, относящуюся къ разности высотъ такъ, какъ удѣльный вѣсъ воздуха относится къ удѣльному вѣсу ртути, т. е. при обыкновенныхъ условіяхъ, какъ 0·0012 : 13·6 или, приблизительно, 1 : 11000; т. е. на каждые 11 *м* поднятія барометръ падаетъ приблизительно на 1 *мм*. Такъ какъ удѣльный вѣсъ воздуха самъ пропорціоналенъ барометрической высотѣ и, слѣдовательно, уменьшается съ высотою мѣста, то барометрическая высота убываетъ не равномѣрно съ высотой мѣста, а въ геометрической прогрессіи. Слѣдовательно, логариѳмъ барометрической высоты долженъ убывать съ возрастаніемъ высоты мѣста равномѣрно, ибо логариѳмъ измѣняется равномѣрно, если само число измѣняется въ геометрической прогрессіи: $\lg ax = \lg x + \lg a$.

Разность высотъ h двухъ сосѣднихъ станцій, на которыхъ въ одинъ и тотъ же моментъ господствуютъ давленія b_0 и b_1, пропорціональна $\lg b_0 - \lg b_1$, именно, въ метрахъ:

$$h = 18400^м . (1 + 0{\cdot}004t) (\lg b_0 - \lg b_1),$$

причемъ для разности высотъ до 1000 метровъ можно взять болѣе удобное приближенное выраженіе

$$h = 16000^{м} . (1 + 0{\cdot}004\,t) . (b_0 - b_1) / (b_0 + b_1).$$

t означаетъ среднюю температуру воздушнаго столба.

Въ формулѣ принято, что воздухъ наполовину насыщенъ парами воды, а вѣсъ приведенъ къ 45^0 широты. Логариѳмы обыкновенные, бригговы.

Доказательство. При выводѣ точной формулы исходятъ изъ столь малаго измѣненія высоты dH, что въ предѣлахъ его удѣльный вѣсъ воздуха можетъ считаться постояннымъ. Онъ равенъ, если b измѣрено въ *мм* и принято, что воздухъ насыщенъ парами воды наполовину (18),

$$\frac{0{\cdot}001295}{1 + 0{\cdot}004\,t} \frac{b}{760}.$$

Плотность ртути при $0^0 = 13{\cdot}596$. Слѣдовательно, отношеніе dH къ измѣненію $-$db барометрической высоты b равно

$$dH : (-db) = 13{\cdot}596 : \frac{0{\cdot}001295}{1 + 0{\cdot}004\,t} \frac{b}{760}.$$

Отсюда для dH получается

$$dH = -7979000^{мм} . (1 + 0{\cdot}004\,t) \frac{db}{b}.$$

Интегрируя въ правой части отъ b_0 до b_1 и допуская при этомъ, что, конечно, не вполнѣ отвѣчаетъ дѣйствительности, постоянство температуры, имѣемъ

$$H_1 - H_0 = 7979000^{мм} (1 + 0{\cdot}004\,t) (\lg \text{nat}\, b_0 - \lg \text{nat}\, b_1).$$

Замѣнивъ, наконецъ, натуральные логариѳмы бригговыми по формулѣ $\lg \text{nat}\, b = 2{\cdot}3026 \lg \text{brigg}\, b$ и превративъ *мм* въ *м*, получимъ

$$H_1 - H_0 = h = 18370^{м} (1 + 0{\cdot}004\,t) (\lg b_0 - \lg b_1).$$

Множитель 18370 слѣдуетъ увеличить еще на $\frac{1}{6}$%, т. е. до 18400, вслѣдствіе пренебрегавшагося до сихъ поръ уменьшенія вѣса ртути съ высотой. Дѣйствительно, на 1^м поднятія уменьшеніе составляетъ $\frac{1}{5000000}$ (стр. 86), тогда какъ давленіе уменьшается на $\frac{1}{8000}$. Слѣдовательно, принятое уменьшеніе барометрической высоты больше, чѣмъ слѣдуетъ, въ $\frac{8000}{5000000} = \frac{1}{600}$.

Приближенная формула для меньшихъ разностей высотъ есть ни что иное, какъ предыдущая дифференціальная формула

$$dH = -7979000 (1 + 0{\cdot}004\,t)\, db / b.$$

dH есть разность высотъ h; для разности барометрическихъ дав... пишемъ $b_0 - b_1$, вставляемъ среднее давленіе $b = \frac{1}{2}(b_0 + b_1)$, о...

превращая *мм* въ *м*, три нуля и, принимая во вниманіе поправку на тяжесть, увеличиваемъ 7979 на $\frac{1}{600}$, круглымъ числомъ, до 8000.

Гипсометръ. Такъ называется легко переносимый приборъ, въ которомъ очень точно опредѣляется температура кипѣнія воды; см. **40** II. Таблица 14 даетъ соотвѣтствующія другъ другу температуры кипѣнія и барометрическія высоты. Такъ какъ 1 *мм* барометрической высоты соотвѣтствуетъ, приблизительно, $\frac{1}{25}$ градуса, то при опредѣленіи температуры требуются большія предосторожности (**40** II).

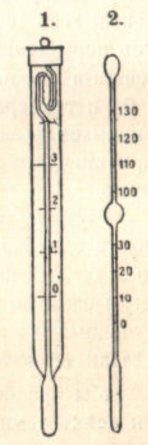
один
ціональн

ТЕПЛОТА

39. Формы термометровъ. Общія замѣчанія

По этому поводу достаточно замѣтить здѣсь лишь слѣдующее.

Ртутные термометры „безъ воздуха" могутъ употребляться въ предѣлахъ отъ — 39⁰ до + 300⁰; обыкновенно столбикъ разрывается уже при болѣе низкихъ температурахъ, особенно если въ ртути находятся слѣды воздуха. Для устраненія этого вгоняютъ ртуть всю въ шарикъ, охлаждая посредствомъ испаряющагося эѳира, охлаждающихъ смѣсей, твердой углекислоты. Если капилляръ оканчивается вверху расширеніемъ (грушей), которое предупреждаетъ также разбиваніе при неосторожномъ, слишкомъ сильномъ нагрѣваніи, то вводятъ въ это расширеніе столбикъ, оторванный воздушнымъ пузырькомъ; сюда же вводится и остальная ртуть путемъ опрокидыванія термометра или, если понадобится, нагрѣваніемъ. Заставивъ здѣсь ртуть слиться въ одну массу, медленно охлаждаютъ въ вертикальномъ положеніи. — Часто расширеніе служитъ также для отдѣленія части ртути, чтобы можно было пользоваться тѣмъ же приборомъ для температуръ, болѣе высокихъ, чѣмъ тѣ, которыя даетъ его шкала. Послѣ этого сравниваютъ для какой-нибудь точки шкалы съ нормальнымъ термометромъ. Однако, если отдѣленъ столбикъ въ a градусовъ, который при повышеніи температуры на 1^0 расширился бы въ стеклѣ на $0{\cdot}00016\,a$ градусовъ (см. **40** IV), то слѣдуетъ кромѣ того принять, что значеніе одного дѣленія шкалы увеличилось въ отношеніи $1 + 0{\cdot}00016\,a$.



Подъ названіемъ Бекмановскаго термометра употребляется, особенно при опредѣленіяхъ точки замерзанія, типъ 1 съ очень большими дѣленіями. — Расширенія служатъ также для того, чтобы можно было имѣть на шкалѣ большія дѣленія, сохраняя возможность контролировать обѣ постоянныя точки или калибровать термометръ. Въ этомъ смыслѣ Nr. 2 примѣнимъ отъ 0 до 30^0 и отъ 100 до 130^0. Верхнее расширеніе позволяетъ кромѣ того отдѣлять часть ртути, чтобы можно было передвинуть употребляемые интервалы выше 30^0.

Ртутный термометръ безъ воздуха даетъ, благодаря „мертвому ходу", показанія, менѣе надежныя при пониженіи температуры, чѣмъ при повышеніи. При точныхъ измѣреніяхъ слѣдуетъ непремѣнно постукивать предъ отчетомъ кусочкомъ дерева.

Термометры для высокихъ температуръ имѣются теперь въ продажѣ до 550^0; они изготовлены изъ тугоплавкаго іенскаго стекла Nr. 59, содержатъ надъ ртутью азотъ или углекислоту.

Для температуръ ниже — 39^0 термометры наполняются алкоголемъ, толуоломъ, нефтянымъ эфиромъ, техническимъ пентаномъ. Длина градуса неодинакова въ различныхъ мѣстахъ шкалы вслѣдствіе неравномѣрнаго расширенія.

Отчитываніе температуры. Болѣе тонкіе отчеты, особенно на термометрахъ съ дѣленіями на самой трубкѣ, лучше всего выполнять съ помощью зрительной трубы: ставятъ термометръ вертикально — по отвѣсу, оконной рамѣ и т. п. и устанавливаютъ трубу на уровнѣ черты отчитываемаго дѣленія. Болѣе простымъ средствомъ для устраненія параллакса служитъ зеркальная полоска, прижатая сзади къ термометру. Глазъ держатъ на такой высотѣ, чтобы его зеркальное изображеніе лежало на одномъ уровнѣ съ вершиной ртутнаго мениска. При отчитываніи съ помощью лупы искривленіе черточекъ, расположенныхъ на неправильной высотѣ, также представляетъ средство для правильной установки глаза.

40. Ртутный термометръ. Точки таянія льда и кипѣнія

Общепринятая шкала температуръ основана на опредѣленіи, что идеальный газъ (водородъ) расширяется на одинаковую величину на каждый градусъ повышенія температуры; см. также **42**. Необходимы кромѣ того двѣ постоянныя точки, которыми служатъ температура таянія льда, принимаемая за 0^0, и температура кипѣнія воды при 760 *мм* атмосфернаго давленія (**37**), принимаемая за 100^0, по стоградусной шкалѣ. Оффиціально провѣренные въ Германіи термометры лучшихъ фабрикъ построены по этой водородной шкалѣ.

Ртутные термометры съ равновеликими дѣленіями даютъ показанія, не вполнѣ одинаковыя съ показаніями газоваго термометра на всемъ протяженіи шкалы; смотри объ этомъ V. Разсмотримъ прежде всего ртутные термометры сами по себѣ, независимо отъ газоваго. Новыя іенскія стекла, хорошо изученныя и менѣе подверженныя многимъ недостаткамъ прежнихъ стеколъ, сдѣлали термометръ точнымъ научнымъ приборомъ.

Мы предположимъ, что термометръ правильно прокалибрированъ, и что при всѣхъ температурахъ ему даютъ установиться. Нуль есть точка, на которой устанавливается ртуть послѣ довольно продолжительнаго, если термо-

метръ былъ предварительно сильно нагрѣтъ, а иногда послѣ очень долгаго пребыванія во льду; отсюда до положенія, занимаемаго столбикомъ ртути при достаточно долгомъ кипяченіи, считается 100 градусовъ, причемъ предполагается, что шкала между этими постоянными точками раздѣлена на равные объемы.

I. Точка таянія льда

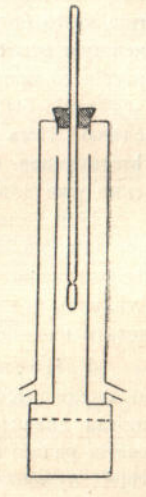
Погружаютъ термометръ въ чистый тающій снѣгъ или чистый (обмытый) мелко наколотый, лучше, скобленный или измельченный на теркѣ, свободный отъ примѣси солей ледъ, смѣшанный съ дестиллированной водой въ жидкую кашицу. Ртутный столбикъ долженъ быть, по возможности, весь погруженъ въ ледъ; термометры въ оправѣ погружаются настолько, чтобы нуль былъ ниже поверхности смѣси, и только на время отчитыванія освобождаются вверху, насколько нужно, отъ льда; вынимать термометръ, хотя бы немного, не слѣдуетъ, такъ какъ при этомъ притекаетъ теплый воздухъ. Особеннаго вниманія требуетъ возможное обтаиваніе льда вокругъ ртутнаго шарика, могущее повлечь значительныя ошибки. Гораздо меньше будетъ источниковъ ошибокъ, если можно предпринять опредѣленіе въ пространствѣ, температура котораго лишь немного выше 0^0.

Точкѣ, на которой устанавливается ртутный столбикъ послѣ того, какъ термометръ принялъ температуру льда, соотвѣтствуетъ температура нуль. Сравни однако еще III, 3.

II Точка кипѣнія

Вносятъ термометръ въ пары воды, бурно кипящей въ металлическомъ сосудѣ или въ стеклянномъ, въ которомъ набросаны кусочки металла. Температура водяного пара находится по давленію, подъ которымъ кипитъ вода, т. е. по показанію барометра, приведенному согласно **37** съ помощью таблицы 14. Температура кипѣнія t при высотѣ барометра b, между 715 и 775 *мм*, можетъ быть опредѣлена съ точностью до $\frac{1}{100}$ градуса безъ таблицы по формулѣ

$$t = 100^0 + 0{\cdot}0375^0 . (b - 760).$$



Шарикъ термометра помѣщается не нъ кипящую воду, а нѣсколько выше поверхности. Ртутный столбикъ долженъ, по возможности, весь находиться въ парахъ. — Выходъ для пара долженъ быть настолько широкъ, чтобы внутри сосуда не могло образоваться избытка давленія. — Пламя не должно охватывать стѣ-

нокъ сосуда, гдѣ онѣ не соприкасаются съ водой. — Въ изображенномъ выше сосудѣ ртутный шарикъ можетъ находиться и не у самой поверхности воды. — Прогрѣваніе термометра, особенно въ оправѣ, требуетъ нѣкотораго времени. Слѣдуетъ повременить съ отчитываніемъ, пока установка станетъ неизмѣнной.

Примѣръ. Приведенная барометрическая высота **(37)** = 742 *мм.* Показаніе термометра 99·8. Температура кипѣнія (табл. 14) = 99·33° (по формулѣ 100 — 0·0375 . 18 = 99·33°). Слѣдовательно, температурѣ 100° соотвѣтствуетъ дѣленіе 99·8 + 0·67 = 100·47; поправка = — 0·47°.

III Измѣняемость постоянныхъ точекъ

1. Вліяніе наклона. Большинство термометровъ разсчитаны на примѣненіе въ вертикальномъ положеніи. При длинныхъ термометрахъ слѣдуетъ обращать на это вниманіе, такъ какъ въ другомъ положеніи они показываютъ нѣсколько выше вслѣдствіе уменьшенія внутренняго давленія.

2. Постепенное повышеніе постоянныхъ точекъ. Вслѣдствіе медленнаго сжатія дутаго стекла постоянныя точки въ новыхъ термометрахъ первое время перемѣщаются вверхъ. Повышеніе длится со все уменьшающейся скоростью иногда годами, достигая величины болѣе, чѣмъ 1°; въ новыхъ іенскихъ термометренныхъ стеклахъ оно гораздо меньше. Процессъ можетъ быть ускоренъ продолжительнымъ нагрѣваніемъ, напримѣръ, при температурѣ кипѣнія

3. Депрессія послѣ нагрѣванія. Такъ какъ расширеніе стекла при каждомъ нагрѣваніи сопровождается послѣдѣйствіемъ, исчезающимъ только со временемъ, то каждое нагрѣваніе оставляетъ послѣ себя нѣкоторое увеличеніе емкости резервуара (послѣдѣйствіе при расширеніи) и вслѣдствіе этого болѣе низкую установку ртути, „депрессію нулевой точки", зависящую отъ сорта стекла, степени и продолжительности нагрѣванія. Депрессія со временемъ изчезаетъ сначала быстрѣе, затѣмъ медленнѣе и, если нагрѣваніе было продолжительно и сильно, можетъ быть еще замѣтной спустя недѣлю. Чѣмъ ниже температура, тѣмъ медленнѣе принимаетъ стекло соотвѣтствующее окончательное состояніе; при 100° это происходитъ обыкновенно уже довольно быстро.

При тонкихъ измѣреніяхъ это непостоянство должно быть принято во вниманіе: не слѣдуетъ, напримѣръ, смѣшивать измѣненной послѣ нагрѣванія благодаря депрессіи точки таянія льда съ ея постояннымъ положеніемъ. Слѣдуетъ поэтому опредѣлять эту точку раньше точки кипѣнія и, если желательно наблюдать депрессію, еще разъ вскорѣ послѣ нея.

4 Повышеніе вслѣдствіе сильнаго нагрѣванія. Нагрѣваніе до очень высокой температуры можетъ повлечь за собой постоянное, иногда значительное (до + 20°) повышеніе постоянныхъ точекъ вслѣдствіе сжатія размягчившагося стекла. Настоятельно совѣтуется болѣе частая провѣрка нулевой точки.

IV. Выставляющійся столбикъ

Въ невозможности ввести термометръ весь въ измѣряемое пространство кроется, особенно при высокихъ температурахъ, источникъ весьма значительныхъ ошибокъ.

При нанесеніи дѣленій на термометрѣ предполагается, что вся ртуть имѣетъ одну и ту же, измѣряемую температуру. Если, какъ обыкновенно бываетъ, часть ртутнаго столбика остается внѣ измѣряемаго пространства, то при температурахъ, значительно отличающихся отъ окружающей, должно вносить поправку слѣдующимъ образомъ. „Кажущійся коэффиціентъ расширенія" ртути въ стеклѣ, т. е. разность между коэффиціентами объемнаго расширенія обоихъ веществъ, равенъ, приблизительно, 0·00016; слѣдовательно къ отчету t необходимо прибавить

$$0{\cdot}00016 \,.\, a\,(t - t_0),$$

гдѣ a выраженная въ градусахъ длина, а t_0 средняя температура выставляющагося столбика. Что касается послѣдней, то приходится обыкновенно довольствоваться приблизительной оцѣнкой.

Берутъ, напримѣръ, небольшой вспомогательный термометръ, если можно, съ длиннымъ резервуаромъ и помѣщаютъ его на половинѣ высоты выставляющагося столбика, или же нѣсколько термометровъ на различныхъ высотахъ и судятъ о температурѣ столбика по показаніямъ этихъ вспомогательныхъ термометровъ.

Другой способъ заключается въ слѣдующемъ. За температуру выставляющагося столбика принимаютъ комнатную температуру, но для длины столбика a, находящейся при этой температурѣ, берутъ не всю выставляющуюся часть столбика, а вычитаютъ изъ нея постоянную величину α, опредѣляемую слѣдующимъ образомъ. Пусть термометръ показываетъ въ теплой ваннѣ постоянной температуры (напримѣръ, въ кипятильникѣ стр. 97) T градусовъ, если онъ весь погруженъ, а будучи выдвинутъ на A градусовъ, показываетъ черезъ нѣсколько времени только t. Пусть при этомъ t_0 температура воздуха. Тогда

$$\alpha = A - \frac{1}{0{\cdot}00016}\,\frac{T - t}{t - t_0}.$$

Найденное такимъ образомъ α вычитается, слѣдовательно, всегда при употребленіи этого термометра изъ длины a выставляющагося столбика; поправка вычисляется затѣмъ по первой формулѣ, но за t_0 принимается температура воздуха.

V. Приведеніе ртутнаго термометра къ газовому

Ртуть расширяется, по сравненію съ совершенными газами, не вполнѣ равномѣрно, а нѣсколько быстрѣе. То же имѣетъ мѣсто и для стекла, но, смотря по сорту, въ различной степени. Сортъ стекла, который обнаруживалъ бы точно такую же (по абсолютной

величинѣ) неравномѣрность въ объемномъ расширеніи, какъ ртуть, далъ бы, очевидно, термометръ, показанія котораго согласовались бы съ воздушнымъ термометромъ. Въ дѣйствительности, однако, большинство ртутныхъ термометровъ, если нулевая точка, точка кипѣнія и калибровка вѣрны, показываютъ между 0 и 100 нѣсколько выше, чѣмъ слѣдуетъ, а при болѣе высокихъ температурахъ ведутъ себя различно. При старыхъ неудовлетворительныхъ сортахъ стекла отступленія могутъ достигать $0{\cdot}5^0$ при 150^0, 4^0 при 250^0, 10^0 при 350^0; см. также **42**.

Для правильнаго самого по себѣ термометра изъ іенскаго стекла Nr. XVI или 59 поправки на газовый термометръ составляютъ

для температуръ	-20^0	0^0	+20	40	60	80	100	120	140^0
при стеклѣ XVI	$+0{\cdot}19^0$	0	−·09	−·12	−·10	−·06	0	+·05	+·09
„ „ 59	$+0{\cdot}10^0$	0	−·04	−·03	−·02	·00	0	−·02	−·08
для температуръ	160^0	180	200	220	240	260	280	300^0	
при стеклѣ XVI	+·10	+·06	−·04	−·21	−·47	−·83	−1·30	−1·91	
„ „ 59	−·19	−·39	−·67						

(Въ аттестатѣ термометра эта поправка принята уже во вниманіе).

41. Калиброваніе термометра

Термометръ самъ по себѣ вѣренъ, если постоянныя точки — на своихъ мѣстахъ, и объемы, соотвѣтствующіе одному дѣленію шкалы, всѣ равны, т. е. если при равенствѣ дѣленій по длинѣ, сѣченіе постоянно. Вслѣдствіе отступленій отъ послѣдняго условія продажные термометры бываютъ при высокихъ температурахъ иногда очень невѣрны.

Таблица поправокъ составляется на основаніи калиброванія въ соединеніи съ опредѣленіемъ постоянныхъ точекъ—указываемымъ ниже способомъ. Для калиброванія служитъ ртутный столбикъ, отдѣленный отъ остальной массы.

О приведеніи вѣрнаго ртутнаго термометра къ газовой шкалѣ см. **40** V.

Отдѣленіе столбика. Держатъ термометръ, предполагается, безвоздушный, въ перевернутомъ положеніи и сообщаютъ концу его легкій толчекъ въ продольномъ направленіи. Съ термометромъ въ оправѣ слѣдуетъ быть осторожнымъ, чтобы не сломать капиляра, и постараться достигнуть цѣли не толчкомъ, а быстрымъ отрывистымъ встряхиваніемъ. При этомъ или отдѣляется столбикъ или вся ртуть начинаетъ вытекать, оторвавшись отъ стѣнокъ резервуара. Отрываніе происходитъ большею частью благодаря приставшему гдѣ-нибудь къ стеклу микроскопическому воздушному пузырьку, который раздувается при этомъ до болѣе значительныхъ размѣровъ. Если ртуть оторвалась въ шарикѣ, то, быстро возвращая термометръ въ прямое положеніе, заставляютъ образовавшійся тамъ пузырекъ подняться къ устью трубки, что при нѣкоторомъ терпѣніи всегда удается. Тогда столбикъ отрывается въ устьѣ трубки.

Предположимъ, что столбикъ на p, примѣрно, градусовъ длиннѣе, чѣмъ желательно. Нагрѣваютъ шарикъ: ртуть, подымаясь, толкаетъ предъ собой воздушный пузырекъ, отдѣляющій столбикъ. Затѣмъ заставляютъ столбикъ быстро слиться съ остальною ртутью и замѣчаютъ показаніе термометра E въ моментъ сліянія; послѣ того какъ обѣ ртутныя массы пришли въ соприкосновеніе, воздушный пузырекъ остается прилипшимъ въ точкѣ E къ стѣнкѣ капиляра. Наконецъ даютъ термометру медленно охлаждаться и отрываютъ столбикъ, наклоняя и встряхивая, въ тотъ моментъ, когда термометръ показываетъ $E-p$.

Если, наоборотъ, столбикъ на p короче, чѣмъ желательно, то соединяютъ его съ остальной массой, нагрѣваютъ послѣ этого на p и тогда отрываютъ столбикъ желаемой длины.

Послѣ нѣсколькихъ повтореній удается получать столбики произвольной длины съ точностью до долей градуса.

Установка столбика и отчитываніе. Осторожнымъ наклоненіемъ и встряхиваніемъ можно установить одинъ конецъ столбика на любой чертѣ дѣленій. Можно, впрочемъ, удовлетвориться приблизительной установкой и отчитывать десятыя градуса на обоихъ концахъ столбика. Дѣлаютъ, по крайней мѣрѣ, два ряда наблюденій.

Для устраненія параллакса кладутъ подъ термометръ зеркальную пластинку и держатъ глазъ такъ, чтобы его изображеніе совпадало съ отчитываемой чертой дѣленій; если при этомъ термометръ перпендикуляренъ къ линіи, соединяющей оба глаза, то при отчитываніи нѣтъ надобности закрывать одинъ глазъ.

Наблюденіе и вычисленіе. Калиброваніе можно производить различно. Для обычныхъ цѣлей можно удовлетвориться наблюденіями по слѣдующей схемѣ, пользуясь для шкалы, простирающейся отъ 0 до 100, столбикомъ въ 20^0, а при болѣе высокихъ температурахъ, гдѣ и безъ того возможны значительныя ошибки, даже въ въ 50^0, предполагая, что дѣленія сами по себѣ правильны, и что каналъ трубки не особенно сильно отступаетъ отъ цилиндрической формы.

Пусть длина a столбика, которымъ калибруютъ, содержится въ 100 цѣлое число разъ, т. е. $n=100/a$ цѣлое число. Отрываемъ столбикъ длиною, приблизительно, a. Налагаемъ его послѣдовательно на отрѣзки отъ 0 до a, отъ a до $2a$ и т. д. Пусть столбикъ занимаетъ

число дѣленій	$a+\delta_1$	$a+\delta_2$	$\cdots$	$a+\delta_n$	и т. д.
въ промежуткѣ отъ	0 до a	a до $2a$	$\cdots$	$(n-1)a$ до 100.	

Предположимъ далѣе, что

температурѣ 0^0 соотвѣтствуетъ (**40**) дѣленіе p_0,
" 100^0 " " " $100 + p_1$

Величины $\mathfrak{d}_1, \mathfrak{d}_2 \ldots$ а равно и p_0 и p_1 суть, слѣдовательно, малыя числа, выраженныя въ дѣленіяхъ шкалы и доляхъ ихъ, положительныя или отрицательныя. Положивъ для краткости

$$s = \frac{1}{n} \cdot (p_0 - p_1 + \mathfrak{d}_1 + \cdots + \mathfrak{d}_n)$$

(!сумма величинъ $\mathfrak{d}$ берется лишь между 0 и 100!), получимъ

для дѣленія	поправка
0	$-p_0$
a	$s - p_0 - \mathfrak{d}_1$
$2a$	$2s - p_0 - \mathfrak{d}_1 - \mathfrak{d}_2$
.	. . . . . .
ma	$ms - p_0 - \mathfrak{d}_1 - \mathfrak{d}_2 - \cdots - \mathfrak{d}_m$.

Или: если Δ_{m-1} представляетъ поправку для дѣленія $(m-1)a$, то для дѣленія ma поправка Δ_m равна

$$\Delta_m = \Delta_{m-1} + s - \mathfrak{d}_m.$$

Если, слѣдовательно, прибавить содержащіяся въ рубрикѣ „поправка" числа къ рядомъ стоящимъ отчетамъ (или отнять, если они отрицательны), то получатся показанія, которыя давалъ бы термометръ съ строго цилиндрическимъ каналомъ, правильнымъ нулемъ и правильной точкой кипѣнія.

Для промежуточныхъ температуръ интерполируютъ обычнымъ образомъ, лучше всего графически.

Доказательство. Столбикъ, будучи передвинутъ на свою длину послѣдовательно n разъ, занимаетъ объемъ отъ 0 дѣленій до 100, увеличенный на $\mathfrak{d}_1 + \mathfrak{d}_2 + \ldots + \mathfrak{d}_n$. Но такъ какъ 0^0 находится при p_0, а 100^0 при $100 + p_1$ и, слѣдовательно, увеличенію объема ртути отъ нулевого дѣленія до сотаго соотвѣтствуетъ повышеніе температуры на $100 + p_0 - p_1$ градусовъ, то объему столбика соотвѣтствуетъ повышеніе температуры

$$1/n \,.\, (100 + p_0 - p_1 + \mathfrak{d}_1 + \ldots + \mathfrak{d}_n) = a + s \text{ (см. выше).}$$

Такимъ образомъ поднятію ртути

отъ дѣленія 0 до a соотвѣтствуетъ повышеніе температуры $a + s - \mathfrak{d}_1$
" " a " $2a$ " " " $a + s - \mathfrak{d}_2$ и т. д.

или: отъ дѣленія 0 повышеніе температуры

до a	$a+$	$s-\delta_1$
„ $2a$	$2a+$	$2s-\delta_1-\delta_2$
. .	. .	. . . . .
„ ma	$ma+$	$ms-\delta_1-\delta_2-\ldots-\delta_m$.

Выраженія вправо отъ черты представляли бы поправки термометра, если бы 0 дѣленій былъ вѣренъ; но такъ какъ ему соотвѣтствуетъ температура $-p_0$, то вездѣ нужно отнять еще по p_0.

Примѣръ. Термометръ для высокихъ температуръ долженъ быть прокалиброванъ отъ 50° до 50°, что достаточно для обыкновенныхъ цѣлей; слѣдовательно, $n = 100:50 = 2$. Столбикъ занимаетъ отрѣзки

отъ дѣленія	0·0 до	50·9	$\delta_1 = +0{\cdot}9$
	50·0 „	100·4	$\delta_2 = +0{\cdot}4$
	100·1 „	150·3	$\delta_3 = +0{\cdot}2$
	149·8 „	199·6	$\delta_4 = -0{\cdot}2$ и т. д.

Нулевая точка была на дѣленіи +0·6. точка 100° на 99·7: слѣдовательно, $p_0 = +0{\cdot}6$, $p_1 = -0{\cdot}3$ и

$$s = 1/n\,(p_0 - p_1 + \delta_1 + \delta_2) = \tfrac{1}{2}\,(+0{\cdot}6 + 0{\cdot}3 + 0{\cdot}9 + 0{\cdot}4) = +1{\cdot}1.$$

Слѣдовательно, для дѣленія поправка

0	−0·6	= −0·6
50	1·1 −0·6 −0·9	= −0·4
100	2·2 −0·6 −0·9 −0·4	= +0·3
150	3·3 −0·6 −0·9 −0·4 0·2	= +1·2
200	+1·2 + 1·1 + 0·2	= +2·5 и т. д.

Вычисленная для 100 поправка даетъ отчасти возможность провѣрить правильность вычисленій.

Калиброваніе посредствомъ нѣсколькихъ оторванныхъ столбиковъ. Не всегда удается отдѣлить короткій столбикъ такой длины, какъ интервалъ a, въ которомъ слѣдуетъ произвести калиброваніе. Въ этомъ случаѣ выходятъ изъ затрудненія, калибруя посредствомъ нѣсколькихъ столбиковъ, длины которыхъ представляютъ различныя кратныя a. Напримѣръ, можно калибровать отъ 20° до 20° посредствомъ столбиковъ въ 40° и 60°.

Сравненіе двухъ термометровъ

Большею частью термометръ вывѣряется посредствомъ сравненія съ нормальнымъ термометромъ. Оба прибора погружаются въ ванну и притомъ, если температура значительно отличается отъ окружающей, въ ванну большихъ размѣровъ, возможно лучше защищенную, напримѣръ, войлокомъ, отъ потери тепла; шарики термометровъ

должны быть въ непосредственной близости одинъ возлѣ другого. Измѣненіе температуры со временемъ — исключаютъ повтореніемъ каждой группы отчетовъ въ обратномъ порядкѣ. Предъ каждымъ отчетомъ помѣшиваютъ. При высокихъ температурахъ рекомендуется, чтобы одинъ наблюдатель производилъ отчеты въ систематическомъ порядкѣ, по часамъ, а другой записывалъ ихъ, постоянно въ то же время помѣшивая.

Схема: терм. A	68·50	68·49	68·47	68·43
„ B		67·96	67·94	67·92
среднее A		68·49	68·48	68·45
слѣдовательно $A-B=$		$+0·53$	$+0·54$	$+0·53$.

42. Газовый или воздушный термометръ

Общепринятая теперь шкала температуръ основана на допущеніи, что совершенный газъ расширяется въ одинаковой степени на каждый градусъ, именно на 1/273 (между 0·00366 и 0·00367) своего объема при 0^0 при постоянномъ давленіи. Въ томъ же отношеніи возрастаетъ давленіе газа при постоянномъ объемѣ. На небольшія индивидуальныя различія (коэффиціенты расширенія воздуха, кислорода и азота, приблизительно, 0·00367, водорода 0·00366) здѣсь не обращаемъ вниманія.

Слѣдовательно, для температуры t^0 C имѣемъ

при постоянномъ давленіи объемъ $v_t = v_0(1 + \frac{1}{273} t)$

при постоянномъ объемѣ давленіе $p_t = p_0(1 + \frac{1}{273} t)$.

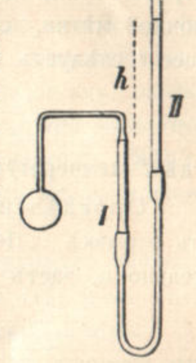
Вмѣсто этого можно также написать

$$v_t = v_0 \frac{273+t}{273} \quad \text{и} \quad p_t = p_0 \frac{273+t}{273}.$$

Давленіе или объемъ пропорціональны выраженію $273+t$ (если въ обоихъ случаяхъ одна изъ этихъ величинъ остается неизмѣнной). Это выраженіе, т. е. температура, считаемая по стоградусной шкалѣ, но не отъ точки таянія льда, а отъ точки, лежащей на 273^0 ниже и принятой за нуль, называется абсолютной температурой.

Простѣйшій воздушный термометръ (модель Жолли) основанъ на наблюденіи измѣненій упругости подъ вліяніемъ температуры при постоянномъ объемѣ. Наполненный сухимъ газомъ (воздухомъ, азотомъ, водородомъ) стеклянный баллонъ, приблизительно, 50 $cм^3$ емкостью соединенъ капилярной трубкой съ вертикальной стеклянной трубкой I, въ которой воздухъ ограниченъ поверхностью ртути. Подымая или опуская уровень ртути въ трубкѣ II, соединенной

каучуковой трубкой съ I, можно „установить" поверхность ртути въ I у мѣтки, находящейся вблизи устья капилярной трубки. Отношенія должны быть выбраны такъ, чтобы даже при самыхъ низкихъ температурахъ давленіе внутри каучуковой трубки было вездѣ больше атмосфернаго, такъ какъ иначе воздухъ легко можетъ просочиться въ нее.—Всѣ опредѣленія h и b высоты ртутнаго столба должны быть приведены къ одной и той же температурѣ, напримѣръ, къ 0^0 (**36**).



Градуировка прибора. Для этого достаточно одновременное опредѣленіе точки таянія льда и барометрическаго давленія. Окружаютъ шарикъ тающимъ льдомъ (**40**, I), устанавливаютъ ртуть и наблюдаютъ показаніе барометра b_0 и разность высотъ h_0 ртутныхъ менисковъ въ II и I. Давленіе, подъ которымъ взятое количество воздуха занимаетъ при 0^0 свой нормальный объемъ, равно $b_0 + h_0 = H_0$, гдѣ h_0 отрицательно, если ртуть въ II стоитъ ниже. Отсюда можно вычислить температуру, соотвѣтствующую всякому другому давленію при этомъ же объемѣ.

Именно, если положить $b + h = H$, гдѣ h новая разность уровней ртути по приведеніи къ тому же объему и b соотвѣтствующее показаніе барометра, то измѣряемая температура t равна

$$t = \frac{H - H_0}{0{\cdot}00367 \,.\, H_0 - 3\beta \,.\, H},$$

гдѣ 3β коэффиціентъ расширенія стекла (**44**, II), входящій сюда въ виду того, что объемъ газа нѣсколько измѣняется вслѣдствіе расширенія стекла. Въ среднемъ можно положить $3\beta = 0{\cdot}000025$.

Доказательство. Если бы объемъ газа оставался неизмѣннымъ, то мы имѣли бы, согласно изложенному на предыдущей страницѣ ($\alpha = 0{\cdot}00367$):

$$H = H_0 (1 + \alpha t), \text{ откуда } t = \frac{H - H_0}{\alpha H_0}.$$

На самомъ дѣлѣ, однако, объемъ увеличился въ отношеніи $(1 + 3\beta t) : 1$, и наблюдавшееся давленіе H во столько же разъ меньше, чѣмъ слѣдуетъ. Поэтому имѣемъ

$$H (1 + 3\beta t) = H_0 (1 + \alpha t) \quad \text{или} \quad H - H_0 = t (\alpha H_0 - 3\beta H),$$

откуда и вытекаетъ формула.

Если нельзя пренебречь, какъ здѣсь сдѣлано, „вреднымъ пространствомъ“, т. е. объемомъ v' капилярной трубки до установочной мѣтки, сравнительно съ объемомъ v баллона, то предыдущее t слѣдуетъ умножить на

$$1+\frac{v'}{v}\frac{H}{H_0}\frac{1}{1+0{\cdot}00367\,.\,t'},$$

гдѣ t' температура v'.

Опредѣленіе коэффиціента расширенія газа. Выведенное въ отрывкѣ „Доказательство“ уравненіе, будучи рѣшено относительно α, даетъ

$$\alpha=\frac{1}{t}\frac{H-H_0}{H_0}+3\beta\frac{H}{H_0}.$$

Отсюда можно опредѣлить коэффиціентъ расширенія газа, которымъ наполненъ термометръ, наблюдая H при извѣстной температурѣ t, напримѣръ, въ парахъ кипящей воды.

43. Электрическое измѣреніе температуры

По сравненію съ ртутнымъ термометромъ электрическіе методы обладаютъ важными преимуществами, допуская примѣненіе весьма малыхъ массъ съ ничтожной теплоемкостью, почти мгновенно принимающихъ измѣряемую температуру, массъ любой величины и формы, благодаря чему имъ доступны весьма небольшія пространства; кромѣ того возможно измѣрять температуру, какъ отдѣльной точки, такъ и, наоборотъ, среднюю температуру сравнительно большого пространства. Они, наконецъ, примѣнимы для самыхъ высокихъ и самыхъ низкихъ температуръ, когда другіе способы отказываются служить.

Слѣдуетъ обращать вниманіе на источники ошибокъ, кроющіеся въ термоэлектрическихъ силахъ, могущихъ возникнуть, напримѣръ, между проводящими проволоками и зажимами изъ другого металла.

I. Термоэлементъ

Пользуются электродвижущей силой, возникающей при разности температуръ въ мѣстахъ соприкосновенія (спаяхъ) двухъ металловъ. Спаиваютъ двѣ термоэлектрически дѣятельныя проволоки равной длины, для низкихъ температуръ, напримѣръ, желѣзо-нейзильберъ или еще лучше желѣзо-константанъ, для высокихъ температуръ платина-платина съ родіемъ; другіе концы припаиваются къ мѣднымъ проволокамъ. Первый спай помѣщаютъ въ точкѣ, температуру которой желаютъ опредѣлить, а другіе два спая поддерживаютъ вмѣстѣ при какой-нибудь извѣстной температурѣ (напримѣръ,

во льду при 0^0); при этомъ возникаетъ электродвижущая сила. Ее измѣряютъ, соединяя концы мѣдныхъ проволокъ съ гальванометромъ.

Для небольшихъ разностей температуръ можно принять, что сила тока пропорцiональна разности температуръ. Слѣдовательно, для опредѣленiя любой температуры по соотвѣтствующему наблюденiю достаточно одинъ разъ измѣрить силу тока при извѣстной разности температуръ. Берутъ зеркальный гальванометръ (**83**) съ умѣреннымъ сопротивленiемъ. Хорошо употреблять исключительно мѣдныя клеммы.

Для большихъ разностей составляютъ эмпирически таблицу, наблюдая отклоненiя для нѣсколькихъ температуръ. По нимъ строятъ таблицу, примѣняя интерполяцiю или графическiй методъ.

Элементъ платина-платина съ родiемъ слѣдуетъ защищать отъ газовъ пламени.

Въ настоящее время въ продажѣ имѣются элементы съ приложенными къ нимъ таблицами, опредѣляющими связь между температурой и электродвижущей силой.

Опредѣленiе температуры плавленiя металловъ. Вводятъ изслѣдуемый металлъ въ видѣ кусочка проволоки 5 *мм* длины въ спай термоэлемента. Наблюдаютъ затѣмъ термоэлектрическую силу въ послѣднiй моментъ предъ плавленiемъ, т. е. предъ прекращенiемъ тока и берутъ изъ таблицы соотвѣтствующую температуру.

II. Болометръ

Электрическое сопротивленiе металловъ возрастаетъ съ температурой, сильнѣе всего у чистыхъ металловъ, особенно у желѣза, никеля и чистой платины, для которыхъ температурный коэффицiентъ (относительное измѣненiе на 1^0) можетъ достигать 0·004. При тонкости и простотѣ методовъ электрическихъ измѣренiй этотъ способъ обладаетъ большими преимуществами.

Измѣрительную проволоку включаютъ вмѣстѣ съ другой такой же проволокой или эквивалентнымъ ей сопротивленiемъ изъ реостата въ мостъ Витстона или въ дифференцiальный гальванометръ (**93** или **92**; см. также **96**, телефонъ).

Предположимъ, что при извѣстныхъ температурахъ t_0 и t_1 (напримѣръ, 0 и 100^0) сопротивленiе оказалось равнымъ w_0 и w_1, а при искомой температурѣ t найдено было равнымъ w; тогда въ предѣлахъ постоянства температурнаго коэффицiента

$$t = t_0 + (t_1 - t_0) . (w - w_0) / (w_1 - w_0).$$

Въ болѣе широкихъ предѣлахъ сопротивленіе растетъ не равномѣрно съ температурой. Зависимость должна быть тогда опредѣлена особо и представлена формулой или кривой; см. **8**.

При небольшихъ сопротивленіяхъ и слабомъ токѣ для температурной ванны можетъ служить чистая вода, если проволока платиновая; надежнѣе непроводящая жидкость (керосинъ). Ванна употребляется, впрочемъ, помимо этого для предупрежденія нагрѣванія токомъ.

Измѣряемое сопротивленіе можно намотать, напримѣръ, на слюдяную пластинку; подводящія проволоки, вездѣ, гдѣ онѣ нагрѣваются, лучше всего брать изъ того же металла, — только толще.

44. Опредѣленіе термическаго коэффиціента расширенія

Линейнымъ коэффиціентомъ расширенія β твердаго тѣла называется удлинненіе единицы его длины, кубическимъ или объемнымъ коэффиціентомъ расширенія 3β — объемное приращеніе единицы его объема, при повышеніи температуры на 1^0. Объемный коэффиціентъ расширенія равенъ утроенному линейному: дѣйствительно, при всестороннемъ равномѣрномъ расширеніи, когда всѣ измѣренія увеличиваются въ отношеніи $1+\beta t$, объемъ возрастаетъ въ отношеніи $(1+\beta t)^3 = 1 + 3\beta t + 3\beta^2 t^2 + \beta^3 t^3$, но вслѣдствіе малости βt послѣдними двумя членами можно пренебречь.

Если тѣло длины l или объема v нагрѣто на t градусовъ, то новыя значенія этихъ величинъ равны, слѣдовательно,

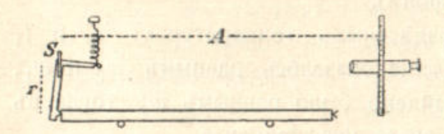
$$L = l\,(1+\beta t) \qquad V = v\,(1+3\beta t).$$

Коэффиціентъ (объемный) расширенія α жидкости быстро возрастаетъ съ повышеніемъ температуры, за исключеніемъ ртути. Если при нагрѣваніи съ t^0 до t'^0 объемъ возрастаетъ отъ v до v', то $\alpha = (1/v)\,.\,(v'-v)/(t'-t)$ называется **среднимъ** коэффиціентомъ расширенія между t' и t.

I. Измѣреніемъ длины

Если стержень длины l при повышеніи температуры на t^0 удлинняется на λ, то $\beta = \lambda / lt$.

Небольшія удлинненія опредѣляются обыкновенно по вызываемому ими вращенію контактнаго рычага. Пусть r разстояніе точки прикосновенія отъ оси вращенія, φ уголъ вращенія, тогда $\lambda = r \sin\varphi$, предполагая, что при одной изъ температуръ плечо рычага перпендикулярно къ направленію стержня.



Уголъ вращенія измѣряется по способу зеркала и шкалы (**25**). Наводятъ зрительную трубу на

основаніе перпендикуляра, опущеннаго изъ зеркала на шкалу; длина его пусть будетъ A дѣленій шкалы. Если отклоненіе при измѣненіи температуры равно e дѣленій шкалы, то $e / A = \mathrm{tg}\, 2\varphi$. Для малыхъ φ можно съ достаточной точностью принять $\sin\varphi = \frac{1}{2}\,\mathrm{tg}\, 2\varphi$, слѣдовательно, въ этомъ случаѣ $\lambda = r \cdot \frac{1}{2}\,\mathrm{tg}\, 2\varphi = \frac{e}{2}\cdot\frac{r}{A}$. См. **25**.

При бóльшихъ разностяхъ температуръ расширеніе перестаетъ быть строго имъ пропорціональнымъ. Тогда длину при температурѣ t полагаютъ равной

$$l = l_0(1 + \beta t + \beta' t^2)$$

и опредѣляютъ оба коэффиціента β и β' изъ трехъ, по крайней мѣрѣ, наблюденій.

II. Взвѣшиваніемъ

Со ртутью. Часто представляется необходимымъ знать коэффиціенты расширенія различныхъ сортовъ стекла. Взвѣшиваютъ баллонъ съ оттянутымъ кончикомъ (черт.) при двухъ различныхъ температурахъ, напримѣръ, при 0 и 100^0, наполняя его каждый разъ совершенно ртутью (**23**). Для наполненія погружаютъ кончикъ предварительно нагрѣтаго баллона въ ртуть: по мѣрѣ охлажденія ртуть всасывается. Это повторяютъ до совершеннаго наполненія, доводя подъ конецъ ртуть до кипѣнія. Наконецъ, даютъ баллону охладиться подъ ртутью до болѣе низкой температуры t. Взвѣшиваніе наполненнаго такимъ образомъ совершенно баллона даетъ вѣсъ нетто p ртути. Послѣ этого нагрѣваютъ до температуры t', причемъ вытекаетъ нѣкоторое количество ртути, и опредѣляютъ новый вѣсъ p'. Тогда коэффиціентъ кубическаго расширенія стекла вычисляется по формулѣ (доказательство см. на слѣд. стр.):

$$3\beta = 0{\cdot}000182\,\frac{p'}{p} - \frac{1}{t'-t}\,\frac{p-p'}{p}.$$

Съ водой. Взвѣшивая при двухъ температурахъ t и t' съ водой, не содержащей воздуха, имѣютъ

$$3\beta = \frac{1}{t'-t}\left(\frac{p'}{p}\,\frac{Q}{Q'} - 1\right) \quad \text{или} \quad = \frac{1}{t'-t}\left(\frac{p'}{p}\,\frac{v'}{v} - 1\right),$$

гдѣ плотности Q и Q' или объемы воды v и v' при температурахъ t и t' берутся изъ табл. 4 или 5.

Ртуть расширяется значительно сильнѣе твердыхъ тѣлъ, еще значительнѣе вода при высокой температурѣ: поэтому необходимо опредѣлять температуру возможно точнѣе.

Изъ опредѣленій плотностей. Если извѣстны плотности s и s' тѣла при температурахъ t и t', то коэффиціентъ расширенія получается изъ формулы

$$3\beta = \frac{1}{t'-t}\left(\frac{s}{s'}-1\right).$$

III. Расширеніе жидкостей

1. Предположимъ, что стеклянный сосудъ — съ оттянутымъ кончикомъ (см. выше) или одинъ изъ изображенныхъ на стр. 46 — вмѣщаетъ при обыкновенной температурѣ t вѣсовое количество жидкости p. Затѣмъ жидкость нагрѣвается въ ваннѣ до болѣе высокой температуры t' и приводится къ прежнему уровню въ сосудѣ посредствомъ, напримѣръ, высасыванія фильтровальной бумагой. Пусть по охлажденіи вѣсъ всего оказался p'. Если 3β кубическій коэффиціентъ расширенія стекла (см. пред. стр.), то средній коэффиціентъ расширенія α жидкости, между t и t', равенъ

$$\alpha = 3\beta\frac{p}{p'} + \frac{1}{t'-t}\cdot\frac{p-p'}{p'}.$$

Дѣйствительно, если v и v' означаютъ удѣльные объемы жидкости при t и t', то $\alpha = (v'/v-1)/(t'-t)$. Но, очевидно, $p'/p = [1+3\beta(t'-t)]\,v/v'$ и, слѣдовательно, $v'/v = p/p' + 3\beta(t'-t)\,p/p'$, откуда легко получается, какъ эта формула, такъ и формула отрывка II.

Методъ вытѣсненія. Взвѣшиваютъ стеклянное тѣло въ жидкости при двухъ температурахъ t и t'; см. **15** A 3. Опредѣливъ вѣса вытѣсненной жидкости p и p', вычисляютъ по той же формулѣ.

3. Дилатометръ. Вводятъ жидкость въ стеклянный сосудъ съ припаянной узкой раздѣленной трубкой, причемъ жидкость должна войти и въ трубку; наблюдаютъ установку столбика при температурахъ t и t'. Если отчитанные объемы соотвѣтственно v и v', то для среднихъ коэффиціентовъ расширенія имѣемъ

$$\alpha = 3\beta\frac{v'}{v} + \frac{1}{t'-t}\frac{v'-v}{v}.$$

Сосудъ калибруется ртутью, трубка — ртутными столбиками, которые затѣмъ взвѣшиваются (см. **23 и 24**). Вмѣсто калиброванія

можно также изслѣдовать въ приборѣ сначала жидкость съ извѣстнымъ расширеніемъ и вывести отсюда объемныя отношенія.

Кубическій коэффиціентъ расширенія средняго тюрингенскаго стекла равенъ, приблизительно, 0·000025, іенскихъ стеколъ Nr XVI и 59—соотвѣтственно 0·000024 и 0·000017.

45. Точка плавленія, точка отвердѣванія

Такъ называется температура, при которой тѣло можетъ существовать одновременно въ твердомъ и жидкомъ состояніи (табл. 11 и 12).—Температура, при которой начинается отвердѣваніе, можетъ лежать значительно ниже точки плавленія. Смѣси нѣсколькихъ веществъ, каковы большинство жировъ, параффинъ, стекло, не имѣютъ, вообще, рѣзко выраженной точки плавленія.

Не слѣдуетъ забывать, что при нагрѣваніи можетъ произойти иногда разложеніе.

Легкоплавкое тѣло можно, напримѣръ, всосать въ расплавленномъ видѣ въ оттянутую стеклянную трубочку и сначала дать ему тамъ затвердѣть. Затѣмъ внести трубочку вмѣстѣ съ термометромъ въ ванну (стаканъ съ водой, керосиномъ, параффиномъ и т. п.), медленно подогрѣваемую при размѣшиваніи, и замѣтить температуру, при которой тѣло становится прозрачнымъ или подвижнымъ. Наблюденіе слѣдуетъ повторить.

Надежнѣе наблюденія надъ болѣе значительными количествами. Вещество нагрѣваютъ постепенно вмѣстѣ съ термометромъ. Точку плавленія узнаютъ по постоянству температуры въ теченіе нѣкотораго времени.

Тугоплавкія тѣла можно плавить въ тиглѣ, въ который введенъ сверху или сквозь дно термоэлементъ (**43**), защищенный тонкой фарфоровой трубкой. Если правильно вести нагрѣваніе, то сила тока во время плавленія остается нѣкоторое время постоянной. О металлическихъ проволокахъ смотри также **43**.

Температура отвердѣванія растворовъ

Значеніе этой задачи—главнымъ образомъ въ опредѣленіи молекулярныхъ вѣсовъ растворенныхъ веществъ. Дѣло въ томъ, что точка отвердѣванія растворителя понижается при растворіи какого-нибудь вещества пропорціонально молекулярной концентраціи раствора, пока послѣдняя не станетъ слишкомъ большой. Если p число граммовъ, растворенныхъ въ 1000 *г* растворителя, M химическій молекулярный вѣсъ растворѣннаго вещества, то $p/M=\mu$ называютъ числомъ граммъ-молекулъ, растворенныхъ въ 1000 *г* растворителя. Пониженіе τ точки отвердѣванія выражается равенствомъ $\tau=G.\mu$ или $\tau=G.p/M$.

Коэффиціентъ G не зависитъ отъ рода раствореннаго вещества, но для каждаго растворителя имѣетъ особое значеніе, напримѣръ:

	для воды	бензола	уксусной кислоты	нитробензола	фенола
точка отвердѣванія	$t = 0{\cdot}0^0$	$5{\cdot}0^0$	17^0	5^0	39^0
	$G = 1{\cdot}85$	$5{\cdot}1$	$3{\cdot}8$	$7{\cdot}0$	$7{\cdot}5$

Слѣдовательно, можно по формулѣ (см. выше)

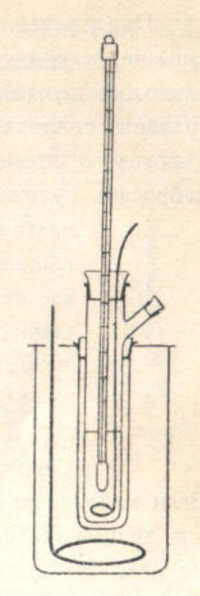
$$M = G \, . \, \frac{p}{\tau}$$

опредѣлить молекулярный вѣсъ M по пониженію точки отвердѣванія τ. Однако слѣдуетъ замѣтить, что многія тѣла, и между ними въ особенности электролиты (соли, щелочи, кислоты) представляютъ ксключеніе изъ этого закона. Дѣйствительное пониженіе τ у водныхъ растворовъ электролитовъ меньше вычисленнаго изъ формулы по химическому молекулярному вѣсу τ_0. Это объясняютъ допущеніемъ, что такія молекулы въ растворѣ распадаются, что онѣ „диссоціированы". „Степень диссоціаціи" оцѣнивается въ случаѣ расщепленія на двѣ молекулы выраженіемъ $\frac{\tau}{\tau_0} - 1$, а при распадѣ на n молекулъ выраженіемъ $\frac{1}{n-1}\left(\frac{\tau}{\tau_0} - 1\right)$; см. **19**.

Такъ какъ, по предыдущему, дѣло сводится къ опредѣленію пониженія точки замерзанія раствора по сравненію съ растворителемъ и притомъ съ значительной точностью, то опредѣляютъ точки замерзанія растворителя и раствора однимъ и тѣмъ же термометромъ.

Точное измѣреніе требуетъ помимо этого значительныхъ предосторожностей, особенно если растворителемъ служитъ вода. Точку замерзанія опредѣляютъ при помощи чувствительнаго термометра, постепенно охлаждая растворъ при постоянномъ помѣшиваніи. Обыкновенно температура падаетъ ниже точки замерзанія, не вызывая первое время отвердѣванія жидкости, но какъ только начинается выпаденіе твердыхъ частицъ, температура мгновенно повышается до точки замерзанія: въ этотъ моментъ и дѣлаютъ отчетъ. Цѣлесообразно облегчать процессъ затвердѣванія введеніемъ слѣдовъ растворителя въ твердомъ видѣ.

Изображенный здѣсь приборъ Бекмана облегчаетъ измѣреніе. Внутренній цилиндръ содержитъ растворъ, наливаемый черезъ боковой тубусъ, мѣшалку и термометръ, отъ ртутнаго столбика котораго можно отдѣлять нѣкоторую часть соотвѣтственно точкѣ замерзанія употребленнаго растворителя (**39**). Пониженіе считается отъ поло-



женія ртутнаго столбика въ замерзающемъ чистомъ растворителѣ. Внутренній цилиндръ вставленъ въ другой, болѣе широкій, окружаемый охлаждающей смѣсью и т. п., и такимъ образомъ отдѣленъ отъ послѣдней слоемъ воздуха. Температура охладительной смѣси должна быть не слишкомъ низкой (3^0) по сравненію съ температурой отвердѣванія, такъ какъ въ противномъ случаѣ найденная температура окажется, вообще, слишкомъ низкой, а если образуется ледяной цилиндръ на стѣнкахъ, слишкомъ высокой.

Цилиндръ наполняютъ отвѣшеннымъ количествомъ растворителя (примѣрно, 10 *г*) и нѣсколько разъ опредѣляютъ по даннымъ выше указаніямъ его точку замерзанія. Точно такъ же находятъ пониженную точку замерзанія, введя черезъ боковой тубусъ отвѣшенное количество растворяемаго вещества. Работаютъ съ пониженіями въ нѣсколько десятыхъ градуса, прибавляя, слѣдовательно, отъ $\frac{1}{1000}$ до $\frac{2}{1000}$ граммъ-молекулы къ 10 *г* растворителя.

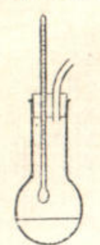
Вымерзаніе (выпаденіе кристалловъ) растворителя повышаетъ концентрацію раствора; поэтому предшествующее замерзанію переохлажденіе не должно быть слишкомъ значительнымъ, а вымерзаніе —продолжительнымъ: въ противномъ случаѣ войдутъ поправки.

46. Точка кипѣнія жидкости

Точкой кипѣнія называется температура, при которой жидкость кипитъ подъ нормальнымъ атмосфернымъ давленіемъ въ 760 *мм* ртутнаго столба при 0^0, т. е. температура, при которой упругость ея насыщенныхъ паровъ равна 760 *мм*.

Образованіе пара происходитъ обыкновенно у стѣнокъ, не только вслѣдствіе того, что онѣ прежде всего обыкновенно нагрѣваются, но и потому также, что образованіе пузырьковъ пара внутри жидкости затрудняется сцѣпленіемъ, тогда какъ къ стѣнкамъ обыкновенно прилипаетъ слой газа, уменьшающій сцѣпленіе. Съ теченіемъ времени сцѣпленіе между стѣнками и жидкостью увеличивается, и происходитъ „замедленіе кипѣнія“, т. е. перегрѣваніе выше точки кипѣнія, иногда значительное, особенно при продолжительномъ кипяченіи Металлическія стѣнки не такъ опасны въ этомъ отношеніи, какъ стеклянныя.

При измѣреніи слѣдуетъ поддерживать умѣренное, равномѣрное кипѣніе, регулируя пламя горѣлки или температуру ванны, стараясь, по возможности, избѣгнуть какъ охлажденія, такъ и, въ особенности, перегрѣванія стѣнокъ, не смоченныхъ жидкостью, причемъ въ теченіе нѣкотораго времени можно препятствовать перегрѣванію жидкости, набросавъ кусочковъ платиновой жести или вплавивъ въ дно сосуда платиновую проволоку. Термометръ помѣщается не въ жидкости, а надъ нею, у самой поверхности; онъ покрывается пленкой жидкости и показываетъ тогда истинную температуру кипѣнія (въ растворахъ, наоборотъ, термометръ погружается въ самую жидкость; см. ниже).



О поправкѣ на выставляющійся столбикъ см. **40** IV.

Опредѣливъ точку кипѣнія при случайной высотѣ барометра b (**37**), необходимо привести ее къ 760 *мм*. Если имѣется уже таблица измѣненій точки кипѣнія съ давленіемъ для данной жидкости или близкой къ ней смѣси, то исправляютъ по ней. Въ противномъ случаѣ ограничиваются вѣроятной поправкой, пользуясь тѣмъ обстоятельствомъ, что температура кипѣнія многихъ жидкостей измѣняется при 760 *мм* приблизительно одинаково, именно на 0·038 или $\frac{3}{80}$ градуса на 1 *мм* ртутнаго столба: къ наблюдавшейся температурѣ кипѣнія прибавляютъ, слѣдовательно, $\frac{3}{80}\cdot(760-b)$ градуса.

Смѣси жидкостей изслѣдуются съ холодильникомъ для обратнаго стеканія жидкости.

Точка кипѣнія раствора

Цѣлью изслѣдованія служитъ обыкновенно опредѣленіе молекулярнаго вѣса растворен наго тѣла.

Законъ повышенія точки кипѣнія раствора. При раствореніи вещества, не образующаго самостоятельно паровъ, упругость пара растворителя уменьшается, и точка кипѣнія, слѣдовательно, повышается. Въ слабомъ растворѣ измѣненіе пропорціонально молекулярной концентраціи. Пусть на 1000 граммовъ растворителя приходится p граммовъ, или p/M граммъ-молекулъ вещества, если M его молекулярный вѣсъ. Тогда повышеніе точки кипѣнія τ равно

$$\tau = S.\mu \quad \text{или} \quad \tau = S.p/M.$$

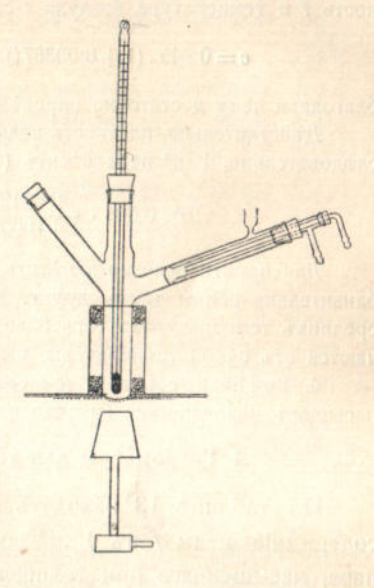
О диссоціаціи, особенно въ водныхъ растворахъ, см. стр. 112.

Слѣдовательно, по повышенію точки кипѣнія τ можно вычислить молекулярный вѣсъ вещества въ растворѣ:

$$M = S.\frac{p}{\tau}.$$

S, постоянное для каждаго растворителя, равно для эфира 2·1, алкоголя 1·16, бензола 2·7, хлороформа 3·6, воды 0·52.

Кипятильникъ Бекмана. Сосудъ для кипяченія расположенъ надъ вырѣзомъ въ листѣ асбетоваго картона, снабженнаго на нижней сторонѣ проволочной сѣткой. Дно кипятильника защищено отъ непосредственнаго дѣйствія горѣлки кускомъ приклееннаго жидкимъ стекломъ асбестоваго картона. Сбоку кипятильникъ защищенъ воздушнымъ чехломъ, закупореннымъ стеклянной ватой, сверху—слюдяной пластинкой. Одна изъ боковыхъ трубокъ содержитъ холодильникъ, черезъ который протекаетъ вода, конденсируя паръ, благодаря чему количество растворителя остается неизмѣннымъ. – Вмѣсто воздушнаго чехла употребляется также кольцеобразный сосудъ съ кипящимъ растворителемъ.



Самый растворъ приготовляется такимъ образомъ. Вводятъ отвѣшенное количество (примѣрно, 10 — 20 *г*) растворителя и опредѣляютъ сначала его точку кипѣнія. Затѣмъ черезъ другую боковую трубку вводятъ отвѣшенныя количества тѣла посредствомъ пипетки, кусками или спрессовавъ въ лепешки. Нижняя часть кипятильника содержитъ стеклянныя бусы и платиновый тетраедръ, что облегчаетъ кипѣніе и позволяетъ довольствоваться небольшимъ количествомъ жидкости.

Примѣръ. Къ 20 *г* воды прибавлено 8 *г* тростниковаго сахара; слѣдовательно, $p = 400$ *г* сахара на 1000 *г* воды. Точка кипѣнія воды $99{\cdot}72^0$, раствора $100{\cdot}34^0$; слѣдовательно, $\tau = 100{\cdot}34 - 99{\cdot}72 = +0{\cdot}62^0$. Отсюда молекулярный вѣсъ сахара $M = S\,.\,p/\tau = 0{\cdot}52\,.\,400/0{\cdot}62 = 335$ (вмѣсто $C_{12}H_{22}O_{11} = 342$).

47. Опредѣленіе влажности воздуха (гигрометрія)

Для метеорологіи или для физическихъ цѣлей важны слѣдующія гигрометрическія свойства воздуха:

1. Плотность водяного пара въ воздухѣ, т. е. количество воды, выраженное въ граммахъ, содержащееся въ 1 $см^3$ воздуха. Такъ какъ это число очень мало, то его обыкновенно умножаютъ на 10^6, получая такимъ образомъ содержаніе воды въ 1 $м^3$ воздуха, выраженное въ граммахъ. Эта величина называется въ метеорологіи абсолютной влажностью воздуха и обозначается черезъ f.

2. Относительная влажность или степень насыщенія, т. е отношеніе дѣйствительнаго содержанія воды къ тому, при которомъ воздухъ былъ бы насыщенъ водою. Эта величина получается изъ абсолютной влаж-

ности f и температуры воздуха, для которой находятъ по табл. 13 максимумъ f_0 возможнаго содержанія воды: она равна f/f_0.

3. Упругость e или давленіе водяного пара.

Упругость e, выраженная въ *мм* ртутнаго столба, абсолютная влажность f и температура воздуха t связаны формулами

$$e = 0{\cdot}945 \,.\, (1 + 0{\cdot}00367t) \,.\, f, \qquad f = 1{\cdot}058 \cdot \frac{e}{1 + 0{\cdot}00367t},$$

благодаря чему достаточно опредѣлить t и e или f.

Дѣйствительно, плотность водяного пара (стр. 58) равна $18/28{\cdot}95 = 0{\cdot}622$ слѣдовательно, 1 $м^3$ пара вѣситъ (**18**)

$$10^6 \,.\, 0{\cdot}622 \cdot \frac{0{\cdot}001293}{1 + 0{\cdot}00367t} \cdot \frac{e}{760} = \frac{1{\cdot}058 \,.\, e}{1 + 0{\cdot}00367t} \text{ г.}$$

Для памяти полезно замѣтить, что (табл. 13) e въ *мм* и f въ $г/м^3$ приблизительно равны другъ другу. Кромѣ того ихъ численныя значенія при среднихъ температурахъ (отъ 6 до 30⁰) въ случаѣ насыщенія не очень отличаются отъ самой температуры, выраженной по стоградусной шкалѣ.

4. Точка росы, т. е. температура τ, при которой воздухъ былъ бы насыщенъ находящимся на лицо водянымъ паромъ.

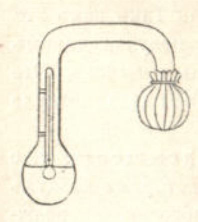
I. Гигрометры для точки росы (Даніель, Реньо)

По таблицѣ 13 находятъ какъ соотвѣтствующее точкѣ росы τ содержаніе воды f въ 1 $м^3$ воздуха, такъ и упругость e водяного пара, насыщеннаго при температурѣ τ, равную дѣйствительной упругости пара въ атмосферѣ. Плотность требуетъ поправки, такъ какъ воздухъ вблизи прибора охлажденъ и вслѣдстіе этого уплотненъ. Поэтому взятое изъ таблицы содержаніе воды, соотвѣтствующее температурѣ τ, слишкомъ велико и должно быть умножено на

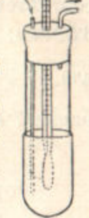
$$\frac{1 + 0{\cdot}00367\,\tau}{1 + 0{\cdot}00367\,t} = \frac{273 + \tau}{273 + t},$$

гдѣ t температура воздуха.

Приборъ устанавливается такъ, чтобы блестящая поверхность отражала по направленію къ глазу свѣтъ отъ ярко освѣщеннаго неба или свѣчи. Въ гигрометрѣ Даніеля шарикъ, обернутый тряпочкой, охлаждается вслѣдствіе испаренія капающаго на него эфира, благодаря чему начинается дестилляція изъ другого шарика и обусловленное этимъ его охлажденіе. Охлаждаютъ, пока не замѣтятъ, что блестящее кольцо становится матовымъ. Тотчасъ прекращаютъ испареніе эфира; температура начинаетъ повышаться; наблюдаютъ показаніе термометра, при



которомъ роса начинаетъ исчезать. Послѣ нѣсколькихъ пробъ легко удается сблизить обѣ эти температуры на разстояніе небольшой доли градуса. Среднее изъ нихъ и принимаютъ за точку росы т. Слѣдятъ за тѣмъ, чтобы пары, выдѣляемые тѣломъ, дыханіемъ и т. д., не имѣли доступа къ поверхности, на которой осаждаютъ росу.



Въ гигрометрѣ Реньо стараются подобрать, регулируя истеченіе воды изъ аспиратора, такую температуру эфира, испаряющагося при продуваніи воздуха, чтобы роса на блестящей поверхности попеременно то появлялась, то исчезала. Эта температура и есть точка росы.

II. Психрометръ Августа

Атмосферная влажность опредѣляется по скорости испаренія воды въ воздухѣ, опредѣляемой опять-таки по охлажденію смоченнаго термометра.

Если t температура воздуха (температура сухого термометра),
t' температура влажнаго термометра,
e' упругость водяного пара, насыщеннаго при t', взятая изъ табл. 13,
b высота барометра въ *мм*,

то по даннымъ метеорологическихъ наблюденій дѣйствительная упругость пара e выражается, смотря по тому, выше или ниже 0^0 температура t', по одной изъ формулъ:

$$t' > 0 \qquad\qquad t' < 0$$

$$e = e' - 0{\cdot}00080\, b\,(t - t'), \qquad e = e' - 0{\cdot}00069\, b\,(t - t').$$

Опредѣливъ e, вычисляютъ абсолютную влажность f по формулѣ пункта 3 стр. 116.

Приведенныя выше постоянныя пригодны для наблюденій на открытомъ воздухѣ, при умѣренномъ вѣтрѣ. Если воздухъ спокоенъ, слѣдуетъ вставить бо́льшія числа; въ маленькой запертой комнатѣ они могутъ возрасти на $50^0/_0$. Чтобы при комнатныхъ наблюденіяхъ создать условія для примѣненія постоянной 0·00080, двигаютъ психрометръ, проще всего, заставляя его качаться на длинной нити.

Приблизительныя формулы. Благодаря различнымъ источникамъ ошибокъ при употребленіи психрометра, обыкновенно бываетъ достаточно принять для b среднюю барометрическую высоту. Положивъ $b = 750$, имѣемъ

$$e = e' - 0{\cdot}60\,(t - t') \text{ или, ниже нуля, } - 0{\cdot}52\,(t - t').$$

Приблизительно можно вычислить также и f по формулѣ

$$f = f' - 0{\cdot}64\,(t - t'),$$

гдѣ f' берется изъ табл. 13 по t'.

Примѣръ. $t = 19{\cdot}42^0$, $t' = 13{\cdot}34^0$; $b = 739$ *мм.* Температурѣ t' въ табл. 13 соотвѣтствуетъ $e' = 11{\cdot}44$ *мм.* Отсюда слѣдуетъ отнять $0{\cdot}00080 \,.\, 739 \,.\, 6{\cdot}08 = 3{\cdot}59$ *мм*; слѣдовательно, упругость пара $e = 7{\cdot}85$ *мм.* По ней вычисляется для $19{\cdot}4^0$ (стр. 116) $f = \frac{1{\cdot}058 \,.\, 7{\cdot}85}{1 + 0{\cdot}00367 \,.\, 19{\cdot}5} = 7{\cdot}75 \frac{г}{м^3}$. Относительная влажность равна $7{\cdot}75/16{\cdot}6 = 0{\cdot}47$.

III. Волосяной гигрометръ и проч.

Форма (длина, кривизна, степень закручиванія) гигроскопическаго тѣла зависитъ отъ влажности воздуха. Положеніе s указателя на шкалѣ должно давать относительную влажность въ процентахъ; слѣдовательно, $s = 100\, f/f_0$ или $f = \frac{1}{100} s \,.\, f_0$, гдѣ f_0 берется изъ табл. 13 соотвѣтственно температурѣ воздуха. Упругость e вычисляется по f (см. стр. 116).

Для провѣрки точки 100% ставятъ приборъ на нѣкоторое время вмѣстѣ съ водою подъ хорошо притертый колоколъ. Въ гигрометрѣ Коппа смачиваютъ дѣйствующее вещество, образующее вообще прозрачную заднюю стѣнку прибора и надѣваютъ запирающую задвижку. Нулевая точка провѣряется подъ колоколомъ съ концентрированной сѣрной кислотой, другія точки шкалы — одновременнымъ наблюденіемъ съ другимъ гигрометромъ; отчетъ на шкалѣ долженъ давать $100\, f/f_0$ (см. выше).

48. Калориметрія. Водяной калориметръ. Удѣльная теплота, способъ смѣшенія

Единица количества теплоты или калорія

За единицу принимаютъ обыкновенно количество теплоты, нагрѣвающее на 1^0 единицу массы воды (1 *г* или 1 *кг.*; граммъ или килограммъ-калорія). Это количество не вполнѣ постоянно: начиная отъ 0^0, оно сначала немного уменьшается, затѣмъ опять возрастаетъ. Такъ какъ для измѣреній пользуются водой обыкновенно при комнатной температурѣ, то въ настоящее время за единицу принимаютъ „калорію$_{15}$", т. е. количество теплоты, нагрѣвающее единицу массы воды при 15^0 на 1^0. Обычно употреблявшаяся раньше „калорія$_0$", отъ 0 на $+1^0$, больше калоріи$_{15}$ приблизительно на 0·007.

Заслуживаютъ еще упоминанія:

Средняя калорія, сотая часть количества теплоты, нагрѣвающаго единицу массы воды отъ 0 до 100^0. Этой единицей удобнѣе всего пользоваться для ледяныхъ калориметровъ. Она приблизительно равна калоріи$_{15}$.

Ледяная калорія, количество теплоты, необходимое для плавленія единицы массы льда. Слѣдуетъ принять ее равной 80·0 калорій$_{15}$.

Механическая калорія. Научной единицей было бы количество теплоты, эквивалентное единицѣ работы. Послѣдняя, въ абсолютной CGS системѣ, равна работѣ, необходимой для поднятія на 1 сантиметръ 1 грамма въ мѣстѣ, гдѣ ускореніе силы тяжести было бы 1 *см/сек*^{2}. Эта абсолютная механическая калорія равна приблизительно $2{\cdot}39 \,.\, 10^{-8}$ водныхъ граммъ-калорій. См. **1**, Nr. 9. Помноживъ на 10^7, получимъ количество, соотвѣтствующее, технической электрической единицѣ работы, ваттъ-секундѣ или джаулю (**1** Nr. 28); слѣдовательно, 1 ваттъ-секунда $= 0{\cdot}239$ *г-кал*$_{15}$; 1 *г-кал*$_{15} = 4{\cdot}19 \,.\, 10^7$ CGS $= 4{\cdot}19$ ваттъ-секунды. Слѣдовательно, токъ силой i амперъ развиваетъ въ проводникѣ сопротивленія w омовъ въ теченіе 1 секунды $0{\cdot}239 \,.\, i^2 w$ *г-кал*

Калориметръ

Употребительные, описанные ниже калориметры, т. е. приборы для измѣренія количества теплоты, основаны на слѣдующихъ процессахъ: измѣненіе температуры воды — водяной калориметръ; плавленіе твердаго тѣла — ледяной калориметръ; выдѣленіе теплоты электрическимъ токомъ — электрическій калориметръ.

Удѣльная теплота

Удѣльная теплота тѣла есть количество тепла или число калорій, нагрѣвающее единицу его массы (*г* или *кг*, смотря по опредѣленію калоріи) на 1^0. Такъ какъ теплоемкость тѣла не вполнѣ постоянна, возрастая, вообще, болѣе или менѣе съ температурой, то слѣдуетъ указывать температуру, для которой число годится. Въ способѣ смѣшенія обыкновенно измѣряютъ количество отданной теплоты между 100^0 и 15^0. Въ этомъ случаѣ находится, слѣдовательно, средняя удѣльная теплота между этими температурами.

Произведеніе изъ удѣльной теплоты на атомный или молекулярный вѣсъ тѣла называется его атомной или молекулярной теплотой. Атомная теплота твердыхъ элементовъ приблизительно равна 6·3, съ большими отступленіями при обыкновенной температурѣ: напримѣръ, для C, B, Si.

Выполненіе измѣреній съ точностью до 1/1000 представляется уже затруднительнымъ; для вычисленія достаточны въ большинствѣ случаевъ четырехзначные логариѳмы (табл. 30).

I. Твердыя тѣла

Тѣло взвѣшивается, нагрѣвается до температуры T и погружается въ отвѣшенное количество воды температуры t. Пусть τ общая окончательная температура тѣла и воды. Если притомъ

m масса тѣла

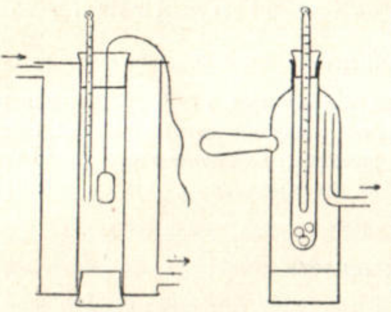
w масса воды + водный эквивалентъ остальныхъ частей калориметра (смотри ниже),

то средняя удѣльная теплота c тѣла между τ и T вычисляется по формулѣ

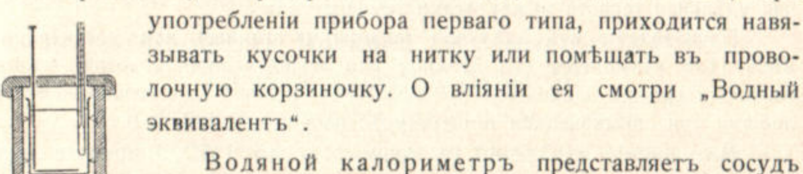
$$c = \frac{w}{m} \cdot \frac{\tau - t}{T - \tau}.$$

Дѣйствительно, $w(\tau - t)$ представляетъ количество тепла, полученное водой; $cm(T - \tau)$ количество, отданное тѣломъ; оба количества тождественны и могутъ быть, слѣдовательно, приравнены другъ другу.

Предварительное нагрѣваніе тѣла производится обыкновенно въ пространствѣ, нагрѣваемомъ снаружи кипящей водой или парами кипящей воды и тщательно защищенномъ отъ обмѣна воздуха (по Реньо, Нейману, Пфаундлеру; см. чертежъ), и должно длиться до тѣхъ поръ, пока находящійся тамъ термометръ не станетъ показывать въ теченіе нѣкотораго времени постоянную температуру. Тогда, открывъ пробку, быстро вводятъ нагрѣтое тѣло въ воду калориметра, для чего, въ приборѣ перваго типа, отпускаютъ нитку, а приборъ второго типа перевертываютъ.



Для быстраго обмѣна тепла берутъ тѣло, особенно если оно плохо проводитъ, въ раздробленномъ видѣ, вслѣдствіе чего, при употребленіи прибора перваго типа, приходится навязывать кусочки на нитку или помѣщать въ проволочную корзиночку. О вліяніи ея смотри „Водный эквивалентъ".



Водяной калориметръ представляетъ сосудъ изъ полированнаго, возможно тонкаго листового металла (латуни, серебра), стоящій на плохо проводящей тепло подставкѣ, напримѣръ, на пробковыхъ призмочкахъ или связанныхъ крестъ на крестъ ниткахъ, въ другомъ охранномъ сосудѣ. Во время наблюденій съ термометромъ, помѣшиваютъ и, въ виду испаренія, закрываютъ крышкой.

Если вода не примѣнима, берутъ другую жидкость, удѣльная теплота которой извѣстна, напримѣръ, анилинъ, толуолъ (табл. 12).

Работаютъ при небольшихъ измѣненіяхъ температуры.

Водный эквивалентъ. Количество теплоты, нагрѣвающее тѣло на 1^0, называется его воднымъ эквивалентомъ. Онъ равенъ массѣ тѣла, помноженной на его удѣльную теплоту. Къ массѣ воды въ калориметрѣ слѣдуетъ прибавить водные эквиваленты сосуда, мѣшалки и термометра. Первые два вычисляются (табл. 11).

Водный эквивалентъ термометра опредѣляется эмпирически. Нагрѣвъ его, хотя бы въ подогрѣтой ртути или даже надъ пламенемъ, до температуры Θ (градусовъ до 30), быстро погружаютъ въ отвѣшенное небольшое количество воды μ, температура которой повышается вслѣдствіе этого съ θ на θ'. Водный эквивалентъ равенъ $\mu\,(\theta'-\theta)/(\Theta-\theta')$.

Обыкновенно достаточно бываетъ вычислить водный эквивалентъ термометра по объему v погружаемой части термометра, принявъ эквивалентъ равнымъ $0{\cdot}46\,v$. Въ самомъ дѣлѣ, водный эквивалентъ $1\,cm^3$ ртути равенъ $13{\cdot}6\,.\,0{\cdot}033 = 0{\cdot}45$ (табл. 2 и 12), эквивалентъ $1\,cm^3$ стекла случайно имѣетъ почти ту же величину, именно $2{\cdot}5\,.\,0{\cdot}19 = 0{\cdot}47$. Объемъ v опредѣляется погруженіемъ въ жидкость въ калиброванной трубкѣ или въ уравновѣшенномъ на вѣсахъ сосудѣ.

Тогда вмѣсто w подставляютъ въ предыдушую формулу сумму опредѣленныхъ такимъ образомъ разъ навсегда водныхъ эквивалентовъ твердыхъ частей калориметра, сложенную съ вѣсомъ нетто взятой воды.

Наконецъ, можетъ войти въ разсчетъ и корзинка, нагрѣваемая вмѣстѣ съ измельченнымъ тѣломъ и вводимая затѣмъ въ калориметръ. Ея водный эквивалентъ w' находится опять-таки, какъ произведеніе изъ массы на удѣльную теплоту.

Полная формула. Для вычисленія удѣльной теплоты по наблюденнымъ величинамъ m, w, w', τ, T, t (см. стр. 120 и выше) служитъ формула

$$c = \frac{1}{m}\left(w\,\frac{\tau - t}{T - \tau} - w'\right),$$

вытекающая изъ равенства $(cm + w')(T - \tau) = w\,(\tau - t)$, гдѣ w означаетъ количество воды, сложенное съ вышеупомянутыми водными эквивалентами.

Тепловой обмѣнъ. Вліяніе неустранимаго теплового обмѣна между калориметромъ и окружающимъ пространствомъ исключается по Румфорду тѣмъ, что выбираютъ начальную температуру t настолько ниже комнатной температуры, насколько окончательная тем-

пература τ ожидается выше. Ожидаемое повышеніе температуры опредѣляется приближенно предварительнымъ опытомъ или, если удѣльная теплота приблизительно извѣстна, вычисленіемъ.

Безупречнѣе слѣдующій способъ: предположимъ, что начальная температура t калориметра настолько низка, что окончательная температура τ остается все еще нѣсколько ниже температуры окружающаго пространства. Въ теченіе 5 — 10 *мин* предъ внесеніемъ нагрѣтаго тѣла наблюдаютъ термометръ, примѣрно, каждую минуту и выводятъ изъ его показаній и температуры воздуха повышеніе температуры калориметра за минуту на градусъ избытка температуры окружающаго пространства. Моментъ внесенія тѣла замѣчаютъ по часамъ и наблюдаютъ повышающуюся температуру каждыя 20 секундъ. Отсюда вычисляютъ, какъ указано въ примѣрѣ, повышеніе температуры калориметра, входящее въ качествѣ поправки. Все время равномѣрно помѣшиваютъ.

Поясннмъ методъ слѣдующимъ примѣромъ.

Водные эквиваленты: сосудъ и мѣшалка изъ латуни вѣсятъ $\mu = 19$ *г.*

Удѣльная теплота латуни $\gamma = 0{\cdot}093$; слѣдовательно, водный эквивалентъ $\mu\gamma = 19 . 0{\cdot}093 = 1{\cdot}8$ *г.*

Термометръ, нагрѣтый до 45⁰, былъ внесенъ въ 20 *г* воды въ $16{\cdot}25^0$; температура повысилась до $17{\cdot}10^0$. Слѣдовательно, водный эквивалентъ $= 20 . (17{\cdot}10 - 16{\cdot}25) / (45 - 17{\cdot}1) = 0{\cdot}6$ *г.*

Вѣсъ воды нетто 74·0 *г*, слѣдовательно, $74{\cdot}0 + 1{\cdot}8 + 0{\cdot}6 = w = 76{\cdot}4$ *г.*

Изслѣдуемое тѣло вѣситъ $m = 48{\cdot}3$ *г.*

Температура нагрѣтаго тѣла $T = 99{\cdot}7^0$.

Начальная температура воды $t = 12{\cdot}05^0$.

Общая окончательная температура $\tau = 17{\cdot}46^0$.

Безъ поправки: $c = \frac{76{\cdot}4}{48{\cdot}3} \cdot \frac{17{\cdot}46 - 12{\cdot}05}{99{\cdot}70 - 17{\cdot}46} = 0{\cdot}1041$.

Поправка на тепловой обмѣнъ: температура окружающаго пространства $18{\cdot}0^0$.

Періодъ предъ внесеніемъ тѣла							
часы	25 *мин*	26	27	28	29	30 *мин*	Среднее
калориметръ	$11{\cdot}54^0$	11·65	11·75	11·88	11·96	$12{\cdot}05^0$	$11{\cdot}80^0$.

Такимъ образомъ термометръ поднялся за 5 *мин* на $0{\cdot}51^0$, причемъ средняя температура была на $6{\cdot}2^0$ ниже окружающей. Слѣдовательно, повышеніе температуры на градусъ избытка равно $0{\cdot}51 / (5.6{\cdot}2) = 0{\cdot}0165$ ⁰/*мин*. Въ 30 *мин* 0 *сек* нагрѣтое тѣло было опущено въ калориметръ, нагрѣвательный приборъ былъ тотчасъ удаленъ, и при постоянномъ помѣшиваніи наблюдалось:

въ	**30′**	20″	40″	**31′**	20″	40″	**32′**	20″	40″	**33′**	Среднее
	$12{\cdot}05^0$	14·7	15·9	16·8	17·2	17·3	17·4	17·44	17·45	$17{\cdot}46^0$	$16{\cdot}6^0$.

Въ теченіе этихъ трехъ минутъ температура была, въ среднемъ, на $1{\cdot}4^0$ ниже окружающей. Слѣдовательно, часть $0.016 . 3 . 1{\cdot}4 = 0{\cdot}07^0$ повышенія темпера-

туры вызвана позаимствованіемъ тепла изъ окружающаго пространства. Наблюденное $\tau = 17{\cdot}46^0$ слѣдуетъ поэтому исправить на $-0{\cdot}07^0$; получается τ исправленное $= 17{\cdot}39^0$ и отсюда, по формулѣ стр. 121,

$$c \text{ исправленное} = 0{\cdot}1027.$$

При вычисленіи средней температуры для поправки первое и послѣднее наблюденія приняты съ половиннымъ вѣсомъ, т. е. при вычисленіи общаго средняго ихъ среднее $14{\cdot}8^0$ складывается съ остальными восьмю величинами. При очень точныхъ опредѣленіяхъ представляютъ ходъ температуры графически и изъ кривой берутъ температуры, примѣрно, для 5, 15, 25 *сек* и т. д.

II. Жидкости

Наливаютъ въ калориметръ отвѣшенное количество m. Удѣльная теплота опредѣляется по повышенію температуры $(\tau - t)$, производимому охлажденіемъ нагрѣтаго тѣла въ жидкости. Для этого служитъ, напримѣръ, стеклянный шаръ, вмѣщающій нѣсколько сотъ граммовъ ртути, съ узкой трубкой, на которой нанесены мѣтки: верхняя (80^0) и нижняя (25^0). Нагрѣваютъ въ ртутной ваннѣ или осторожно надъ пламенемъ, пока ртуть не подымется выше верхней мѣтки, даютъ затѣмъ охлаждаться и въ моментъ установки на этой мѣткѣ опускаютъ нагрѣватель въ жидкость (температура $= t$). Какъ только при помѣшиваніи ртуть опустится до нижней мѣтки, вынимаютъ нагрѣватель и наблюдаютъ снова температуру (τ) жидкости.

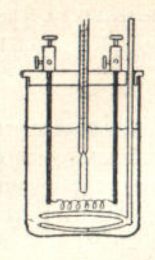
Пусть такой же опытъ, при которомъ тотъ же нагрѣватель былъ опущенъ въ количество w воды въ томъ же сосудѣ, далъ нагрѣваніе воды съ t' до τ'; тогда, очевидно, если обозначимъ водный эквивалентъ калориметра черезъ w':

$$c = \frac{1}{m}\left[(w + w')\frac{\tau' - t'}{\tau - t} - w'\right].$$

Дѣйствительно, $(cm + w')(\tau - t) = (w + w')(\tau' - t')$.

49. Удѣльная теплота; электрическій методъ

I. Сравненіе двухъ жидкостей. Двѣ жидкости нагрѣваются въ одинаковыхъ сосудахъ однимъ и тѣмъ же электрическимъ токомъ (**80**), протекающимъ по равнымъ проволочнымъ сопротивленіямъ изъ металлическаго сплава, проводимость котораго возможно меньше зависитъ отъ температуры (табл. 20), напримѣръ, изъ платины-серебра. Цѣлесообразно подобрать количества жидкостей такъ, чтобы ожидаемыя повышенія температуры были приблизительно одинаковы. Далѣе, берутъ начальныя температуры настолько же приблизительно ниже комнатной, насколько окончательныя будутъ выше.



Благодаря этому исключается до извѣстной степени вліяніе какъ потери теплоты во время опыта, такъ и измѣненія сопротивленія проволоки съ температурой.

Если количество жидкости m вмѣстѣ съ воднымъ эквивалентомъ w сосуда и термометра нагрѣлось съ t до τ, а другое количество m' вмѣстѣ съ соотвѣтствующимъ воднымъ эквивалентомъ w' твердыхъ частей съ t' до τ', то $(cm+w):(c'm'+w')=(\tau'-t'):(\tau-t)$; слѣдовательно,

$$c=\frac{1}{m}\left[(c'm'+w')\frac{\tau'-t}{\tau-t}-w\right].$$

c' равно 1, если жидкость m' — вода.

Возможная асимметрія исключается проще всего тѣмъ, что жидкости обмѣниваются сосудами, и берется среднее изъ обоихъ полученныхъ результатовъ.

Источники ошибокъ кроются въ томъ, что температура проволокъ, а слѣдовательно и ихъ сопротивленіе могутъ быть различны вслѣдствіе неодинаковой отдачи тепла, и въ томъ, что часть тока можетъ отвѣтвиться отъ проволоки черезъ жидкость. Чистая вода проводитъ очень плохо; можно не бояться побочнаго замыканія въ случаѣ благородныхъ металловъ, если напряженіе въ проволокѣ остается ниже 2 вольтъ (**80** I). Берутъ сопротивленія не слишкомъ большія.

II. Абсолютное опредѣленіе. Пропускаютъ съ указанными въ пунктѣ I предосторожностями токъ въ i амперъ (см. **81**, **85**; особенно ампер-вольтметръ Вестона) черезъ сопротивленіе r омовъ (**90**), погруженное въ изслѣдуемую жидкость, взятую въ количествѣ m граммовъ; пусть w водный эквивалентъ сосуда, включая другія твердыя части (стр. 121). Предположимъ, что за z *сек* температура поднялась на t. Пусть искомая удѣльная теплота $= c$. Тогда $(cm+w)t = 0{\cdot}239\, i^2rz$; см. **1**, Nr. 28 и **112**. Слѣдовательно,

$$c=0{\cdot}239\frac{i^2rz}{mt}-\frac{w}{m}.$$

50. Удѣльная теплота; ледяной калориметръ Бунзена

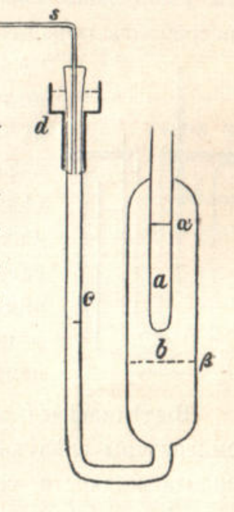
Для превращенія одного грамма льда при 0° въ воду при 0° требуется 80·0 $кал_{15}$ (теплота плавленія льда).

Объемъ 1 *г* льда = 1·0908 $см^3$, объемъ 1 *г* воды при 0° = 1·0001 $см^3$. Если объемъ уменьшился на 1 $см^3$, то, слѣдовательно, растаяло количество льда 1/0·0907 = 11·03 *г*.

Пусть вслѣдствіе того, что m граммовъ тѣла, охладившись съ t до 0^0, отдали свою теплоту льду при 0^0, произошло уменьшеніе объема на v $cм^3$; тогда по предыдущему удѣльная теплота тѣла равна

$$c = \frac{v}{m}\,\frac{11{\cdot}03\,.\,80{\cdot}0}{t} = \frac{v}{m}\,\frac{882}{t}.$$

Калориметръ Бунзена состоитъ изъ стеклянныхъ частей съ наклеенной желѣзной насадкой d. Части b, c, d и раздѣленная трубка s наполнены, начиная отъ пунктирной линіи β, ртутью. Надъ нею въ b находится прокипяченная вода; ледъ въ ней образуется предъ опытомъ при помощи охладительный смѣси, введенной въ a.



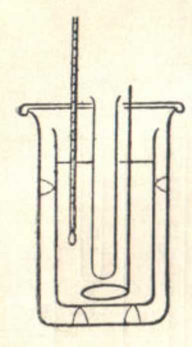
При употребленіи приборъ окружается чистымъ тающимъ льдомъ или снѣгомъ; раздѣленная трубка s вдвигается настолько, чтобы ртуть стояла достаточно далеко за дѣленіями. Наполнивъ сосудъ a до α водой или какой-нибудь другой жидкостью, не растворяющей изслѣдуемаго тѣла, нагрѣваютъ послѣднее (чертежъ на стр. 120), бросаютъ его въ a (причемъ комокъ ваты на днѣ пробирки предохраняетъ ее отъ поврежденія) и закрываютъ a пробкой. Ртуть въ s идетъ обратно и занимаетъ опредѣленное положеніе. Если смѣщеніе равно e дѣленіямъ, а объемъ одного дѣленія $= A$, то $v = A\,.\,e$.

О калиброваніи трубки см. **24**.

Можно безъ калиброванія опредѣлить тепловой эквивалентъ K одного дѣленія слѣдующимъ образомъ. Наполняютъ легкій стеклянный шарикъ (отъ 0·5 до 1 $cм^3$), оставивъ небольшое пространство для расширенія, отвѣшеннымъ количествомъ воды, увеличиваютъ его вѣсъ небольшимъ количествомъ платины, нагрѣваютъ до температуры t' (стр. 120) и вводятъ въ калориметръ. Пусть w сумма водныхъ эквивалентовъ (см. стр. 121), e' послѣдовавшее смѣщеніе на шкалѣ; тогда сокращенію ртутнаго столбика на одно дѣленіе соотвѣтствуетъ количество теплоты $K = wt'/e'$. — Если теперь тѣло въ m граммовъ, нагрѣтое до температуры t, охладившись, вызвало смѣщеніе на e дѣленій шкалы, то его удѣльная теплота $c = K \cdot \frac{e}{mt}$.

51. Другія калориметрическія измѣренія

Термохимическія измѣренія. Для изученія тепловыхъ явленій при химическихъ процессахъ часто бываетъ удобенъ ледяной калориметръ, въ которомъ даютъ произойти химической реакціи между охлажденными предварительно до 0^0 тѣлами. Проще слѣдующій приборъ. Тонкостѣнный стаканъ, содержащій около литра воды, стоитъ на пробочныхъ призмочкахъ внутри другого болѣе широкаго стакана. Для уменьшенія обмѣна тепла лучеиспусканіемъ цѣлесообразно слегка посеребрить обращенныя другъ къ другу поверхности стакановъ.



Черезъ деревянную крышку проходитъ чувствительный термометръ, мѣшалка и тонкостѣнная пробирка, въ которой происходитъ реакція. — Если хотятъ измѣрить теплоту растворенія жидкаго или твердаго тѣла, вводятъ вещество, твердое — въ видѣ тонкаго порошка, въ пробирку. Выждавъ, пока температура вещества сравняется съ температурой калориметра, пробиваютъ пробирку и производятъ, помѣшивая, раствореніе. Работаютъ съ небольшими измѣненіями температуры.

Выдѣлившіяся количества тепла вычисляются по измѣненіямъ температуры слѣдующимъ образомъ (см. **48** I). Пусть c удѣльная теплота жидкости, содержащейся въ количествѣ m въ тонкостѣнномъ стаканѣ, c' удѣльная теплота введеннаго въ количествѣ m' тѣла, w сумма водныхъ эквивалентовъ внутренняго стакана, пробирки, мѣшалки и термометра (стр. 121); предположимъ, что температура поднялась съ t до τ; тогда выдѣленное количество тепла равно $(cm + c'm' + w)(\tau - t)$. И здѣсь, какъ на стр. 122, слѣдуетъ принимать предосторожности и вводить поправки на тепловой обмѣнъ съ окружающимъ пространствомъ.

Теплота при абсорбціи газовъ опредѣляется, въ принципѣ, подобно предыдущему, но не въ стаканѣ, а въ стеклянной колбѣ, похожей на спринцовку, черезъ которую газъ вступаетъ въ жидкость. Количество абсорбированнаго газа можетъ быть опредѣлено измѣреніемъ объема или взвѣшиваніемъ склянки до и послѣ опыта на чувствительныхъ вѣсахъ или химическимъ анализомъ.

Теплота плавленія. Количество m расплавленнаго тѣла температуры t вводится въ ледяной калориметръ (**50**). Пусть точка пла-

вленія его $=\tau$ (выше 0^0), удѣльная теплота его въ жидкомъ и твердомъ состояніяхъ извѣстна и равна c и c'; количество растаявшаго льда $= M$. Теплота плавленія равна тогда

$$\kappa = 80{\cdot}0\, M/m - ct + (c - c')\,\tau.$$

Если точка плавленія ниже 0^0, можно ввести тѣло въ ледяной калориметръ въ твердомъ видѣ, причемъ оно плавится тамъ, и вычислять затѣмъ подобнымъ же образомъ.

Вмѣсто $80{\cdot}0\, M$ можно вставить $882\, v$, гдѣ v означаетъ измѣненіе объема при таяніи льда (**50**).

Теплота испаренія. Предположимъ, что количество m пара при температурѣ кипѣнія t расплавляетъ при конденсаціи и охлажденіи до 0^0 количество льда M; удѣльная теплота жидкости равна c. Тогда теплота испаренія вычисляется по формулѣ $\lambda = 80{\cdot}0\, M/m - ct$. Ожиженіе пара происходитъ въ змѣевикѣ съ небольшимъ холодильникомъ на концѣ. Измѣреніе подвержено большимъ погрѣшностямъ.

УПРУГОСТЬ И ЗВУКЪ

52. Опредѣленіе модуля упругости изъ растяженія

Модули упругости см. табл. 16.

Измѣненію формы твердаго тѣла противодѣйствуютъ силы, возрастающія, пока измѣненіе формы остается незначительнымъ, пропорціонально послѣднему.

Модуль или коэффиціентъ упругости характеризуетъ упругость матеріала тѣмъ, что даетъ для какого-нибудь опредѣленнаго случая отношеніе между упругой силой и величиной деформаціи. Смотря по роду взаимнаго смѣщенія частицъ тѣла, различаютъ модули растяженія и крученія. Первый представляетъ силу, возникающую вслѣдствіе взаимнаго удаленія параллельныхъ слоевъ. Гнутіе можно свести къ растяженію.

Пусть длина цилиндра (проволоки, стержня) l, площадь поперечнаго сѣченія q; растягивающая сила p производитъ удлинненіе λ, исчезающее по прекращеніи дѣйствія силы. Тогда, если обозначить модуль растяженія черезъ E:

$$\lambda = \frac{1}{E}\frac{l}{q}p \quad \text{или} \quad E = \frac{l}{\lambda}\frac{p}{q}.$$

Слѣдовательно, E есть отношеніе натяженія, которому подвергается цилиндръ, длина и поперечное сѣченіе котораго равны единицѣ, къ происходящему при этомъ удлинненію — или грузъ, который нужно было бы подвѣсить къ проволокѣ съ поперечнымъ сѣченіемъ единица, чтобы удвоить ея длину, если бы первоначальное отношеніе между удлинненіемъ и нагрузкой сохранялось до тѣхъ поръ.

Величина числа E зависитъ отъ единицъ которыми измѣряются поперечное сѣченіе и вѣсъ.

Обыкновенное техническое опредѣленіе. Обыкновенно выражаютъ поперечное сѣченіе въ *мм*², растягивающую силу въ *кг* (единица длины не входитъ); единицей, слѣдовательно, является *кг*/*мм*².

Модуль растяженія η въ системѣ CGS. Если подъ *г*, *кг* и т. д. разумѣть единицы массы, а не вѣса, то растягивающая сила выражается черезъ $g \cdot p$, гдѣ g ускореніе силы тяжести. Слѣдовательно, единица силы въ системѣ CGS, „дина", т. е. вѣсъ, который имѣлъ бы 1 *г* въ мѣстѣ, гдѣ ускореніе при паденіи равнялось бы 1 *см*/*сек*², въ g разъ меньше и число для модуля растяженія въ g разъ больше, чѣмъ въ томъ случаѣ, когда подъ граммомъ понимаютъ единицу вѣса. Слѣдовательно, чтобы получить модуль растяженія η въ системѣ CGS, нужно умножить E, число, выражающее его въ *кг*-вѣсъ/*мм*², сперва на отношеніе *кг*/*г* = 1000, затѣмъ на *см*²/*мм*² = 100 и наконецъ на g = 981 *см*/*сек*², всего, такимъ образомъ, на 98 100 000. См. 1, Nr. 13.

Частное отъ дѣленія η на плотность представляетъ квадратъ скорости звука въ $(см/сек)^2$. См. **53**.

Употребительнѣе техническое опредѣленіе.

Опредѣленіе модуля растяженія. Прикрѣпляютъ верхній конецъ проволоки или стержня къ стѣнѣ или къ прочной подставкѣ, нагружаютъ, если понадобится, нижній конецъ сперва настолько, чтобы проволока совершенно выпрямилась, и измѣряютъ ея длину. Добавляютъ къ нижнему концу пригрузокъ въ p *кг* и опредѣляютъ вызванное имъ удлинненіе λ, выраженное въ тѣхъ же единицахъ, что и l. Если поперечное сѣченіе проволоки, въ $мм^2$, равно q, то

$$E = \frac{l}{\lambda} \cdot \frac{p}{q} \frac{кг\text{-вѣсъ}}{мм^2}.$$

Измѣряемое удлинненіе должно оставаться „въ предѣлахъ упругости", т. е. проволока должна возвращаться послѣ разгрузки къ первоначальной длинѣ, что слѣдуетъ проконтролировать. Можно повысить предѣлъ упругости, подвергая проволоку предъ опытомъ дѣйствію груза, большаго, чѣмъ при измѣреніяхъ. Даже съ твердыми металлами не слѣдуетъ идти при измѣреніяхъ дальше половины той нагрузки, при которой наступаетъ разрывъ. См. табл. 16.

Измѣреніе площади поперечнаго сѣченія. 1. Измѣреніемъ діаметра; при малой толщинѣ пользуются чувствительнымъ рычажкомъ или микроскопомъ (**21**).

2. Взвѣшиваніемъ. Если h *мм* проволоки плотностью s (**15** и табл. 2) вѣсятъ m *мг*, то $q = m/(hs)\ мм^2$.

Вслѣдствіе упругаго послѣдѣйствія величина деформаціи со временемъ болѣе или менѣе — у стали очень мало — возрастаетъ. Обыкновенно подвергаютъ дѣйствію нагрузки возможно короткое время.

Чтобы увеличить точность результата, наблюдаютъ при нѣсколькихъ нагрузкахъ.

Примѣръ. 2 *м* желѣзной проволоки вѣсятъ 1310 *мг*; плотность = 7·61; слѣдовательно, поперечное сѣченіе $q = 1310/(2000 \cdot 7{\cdot}61) = 0{\cdot}0861\ мм^2$.

Наблюдалось, въ порядкѣ номеровъ:

Nr.	Нагрузка	Длина	*Nr.*	Нагрузка	Длина	Удлинненіе отъ 2 *кг*
1.	0·5 *кг*	913·80 *мм*	2.	2·5 *кг*	914·89 *мм*	1·09 *мм*
3.	0·6 „	913·85 „	4.	2·6 „	914·96 „	1·11 „
5.	0·7 „	913·90 „	6.	2·7 „	915·00 „	1·10 „
7.	0·8 „	913·98 „	8.	2·8 „	915·09 „	1·11 „

Слѣдовательно, при $p = 2{\cdot}00$ *кг* удлинненіе λ равно, въ среднемъ, 1·102 *мм*.

Отсюда модуль растяженія

$$E = \frac{l \cdot p}{\lambda \cdot q} = \frac{913{\cdot}8 \cdot 2{\cdot}0}{1{\cdot}102 \cdot 0{\cdot}0861} = 19260 \, \frac{\textit{кг-вѣсъ}}{\textit{мм}^2} \, .$$

Въ системѣ CGS этотъ модуль (стр. 128) равенъ

$$\eta = 19260 \cdot 98100000 = 1890 \cdot 10^9 \left[\textit{см}^{-1} \ \textit{г} \ \textit{сек}^{-2} \right] .$$

53. Опредѣленіе модуля растяженія изъ продольныхъ колебаній

Скорость распространенія u упругой волны сгущенія опредѣляется въ *см/сек* выраженіемъ $\sqrt{\eta / s}$, если η измѣрено въ единицахъ CGS, а если, какъ обыкновенно, модуль измѣренъ въ *кг*-вѣсъ/*мм*², — выраженіемъ $\sqrt{98100000 \cdot E/s}$. Въ *м/сек* число для скорости будетъ въ 100 разъ меньше и равно, слѣдовательно, $\sqrt{9810 \cdot E/s}$.

Скорость распространенія получаютъ изъ длины волны λ и числа колебаній N:

$$u = \lambda N.$$

Если колеблется стержень съ свободными концами съ одним ъ узломъ или зажатая на концахъ проволока съ одной пучностью посрединѣ, то длина ея l равна полуволнѣ. Изъ числа колебаній N тона получается, слѣдовательно, $u = 2lN$.

Заставляютъ укрѣпленный посрединѣ стержень или зажатую у обоихъ концовъ натянутую проволоку длины l издавать ихъ основной тонъ при продольныхъ колебаніяхъ, натирая стержень у одного изъ свободныхъ концовъ, проволоку — посрединѣ. Если N высота тона, т. е. число колебаній въ секунду (см. **57** и табл. 17), то по предыдущему модуль растяженія E равенъ

$$E = \frac{u^2 s}{9810} = \frac{4 N^2 l^2 s}{9810} \, \frac{\textit{кг-вѣсъ}}{\textit{мм}^2} \, .$$

Продольныя колебанія возбуждаютъ, натирая шерстяной тряпкой, натертой для металла или дерева канифолью, а для стекла смоченной водой или спиртомъ.

Высота тона опредѣляется посредствомъ сравненія съ извѣстнымъ камертономъ и т. п. Неточную оцѣнку музыкальныхъ интерваловъ можно свести, пользуясь монохордомъ, къ сравненію длинъ (**57**, 3). — Часто бываетъ затруднительно опредѣлить, къ какой октавѣ относятся очень высокіе тоны. Подобную ошибку легко замѣтить, такъ какъ она увеличиваетъ или уменьшаетъ результатъ, по меньшей мѣрѣ, въ четыре раза.

Относительныя числа колебаній мажорной гаммы:

24	27	30	32	36	40	45	48
c	d	e	f	g	a	h	c_1;

простѣйшие интервалы:

2 : 1	3 : 2	4 : 3	5 : 4	6 : 5
октава	квинта	кварта	б. терція	м. терція
$\frac{c_1}{c}$	$\frac{g}{c}\ \frac{h}{e}\ \frac{c_1}{f}$	$\frac{f}{c}\ \frac{g}{d}\ \frac{a}{e}\ \frac{c_1}{g}$	$\frac{e}{c}\ \frac{a}{f}\ \frac{h}{g}$	$\frac{g}{e}\ \frac{c_1}{a}$

приблизительно, также a/d f/d.

Объ опредѣленіи высоты тона по пыльнымъ фигурамъ см. **56**, о графическомъ опредѣленіи **57**.

Примѣръ. Та же желѣзная проволока (см. предыдущій примѣръ) дала при длинѣ $l = 1{\cdot}361$ *м* тонъ ais_3. Изъ табл. 17 найдено соотвѣтствующее число колебаній $N = 1843$. Полагая удѣльный вѣсъ $s = 7{\cdot}61$, получаемъ

$$E = \frac{4\,.\,1843^2\,.\,1{\cdot}361^2\,.\,7{\cdot}61}{9810} = 19520\,\frac{\text{кг-вѣсъ}}{\text{мм}^2}.$$

54. Модуль растяженія изъ гнутія стержня

Горизонтальный прямоугольный стержень длины l, толщины a и ширины b, все въ *мм*, крѣпко зажатъ однимъ концомъ; при нагрузкѣ въ p *кг* свободный конецъ опускается на h:

$$h = \frac{4}{E}\frac{l^3}{a^3 b}\,p\ \text{мм}.$$

При кругломъ сѣченіи радіуса r слѣдуетъ вмѣсто a^3b вставить $3r^4\pi$ или $3q^2/\pi$, если $q = r^2\pi$ представляетъ площадь сѣченія. Законъ вытекаетъ изъ свойствъ упругихъ силъ, развивающихся вслѣдствіе растяженія верхнихъ и сжатія нижнихъ слоевъ стержня при его искривленіи.

h считается отъ положенія, которое занимаетъ стержень, нѣсколько согнутый уже вслѣдствіе собственнаго вѣса, безъ нагрузки.

Свободно лежащій на двухъ подпоркахъ стержень, нагруженный посрединѣ, испытываетъ такой же прогибъ, какъ и стержень, зажатый, какъ указано выше, но вдвое короче и при нагрузкѣ свободнаго конца вдвое меньшимъ грузомъ, слѣдовательно, прогибъ въ 16 разъ меньшій, чѣмъ предыдущій.

I. Зажатый стержень. Крѣпко зажимаютъ одинъ конецъ горизонтальнаго стержня и наблюдаютъ установку свободнаго конца на вертикальномъ масштабѣ (зеркальная шкала, поставленная непосредственно за концомъ стержня; катетометръ). Пусть нагрузка свободнаго конца въ p *кг* вызываетъ пониженіе его на h *мм*. Высота прямоугольнаго сѣченія $= a$, ширина $= b$; длина свободной

части стержня $= l$, все въ *мм*. Тогда модуль растяженія равенъ

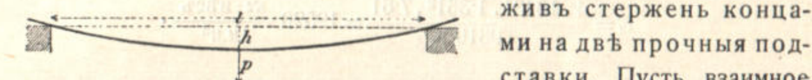
$$E = 4\,\frac{l^3}{a^3 b}\,\frac{p}{h}.$$

Трудность заключается въ необходимости достаточно прочнаго закрѣпленія.

Тонкія проволоки. Методъ очень удобенъ для тонкихъ проволокъ, зажимаемыхъ въ тискахъ. Площадь поперечнаго сѣченія q (въ $мм^2$) получается изъ вѣса и плотности, какъ въ **52**. Имѣемъ, въ прежнихъ обозначеніяхъ (см. выше):

$$E = \tfrac{4}{3}\,\pi\,\frac{1}{h}\,\frac{l^3}{q^2}\,p.$$

II. Свободно лежащій стержень. Затрудненія, вызываемыя необходимостью прочно закрѣплять стержень, можно обойти, положивъ стержень концами на двѣ прочныя подставки. Пусть взаимное разстояніе ихъ равно l. Если нагрузка p средины стержня вызываетъ въ этомъ мѣстѣ пониженіе h (зеркальная шкала; катетометръ), то



$$E = \tfrac{1}{4}\,\frac{l^3}{a^3 b}\,\frac{p}{h}.$$

Формулы предполагаютъ небольшія, сравнительно съ длиной, пониженія.—И здѣсь слѣдуетъ убѣждаться въ возстановленіи первоначальной формы по удаленіи груза.—Маленькія сѣченія опредѣляются взвѣшиваніемъ (стр. 129).

55. Опредѣленіе модуля крученія изъ колебаній

Моментъ вращенія P, дѣйствуя на свободный конецъ зажатаго другимъ концомъ цилиндрическаго стержня или проволоки длины l и радіуса r, повертываетъ свободный конецъ на уголъ

$$\alpha = \frac{1}{\Phi}\,\frac{2}{\pi}\,\frac{l}{r^4}\,P.$$

Если r, l, P измѣрены въ единицахъ CGS, то Φ означаетъ модуль крученія, выраженный въ тѣхъ же единицахъ; α получается въ абсолютной мѣрѣ, т. е. $\alpha \times 57{\cdot}30$ даетъ уголъ поворота въ градусахъ (**1**, 3).

„Направляющая сила" такой проволоки равна, слѣдовательно (см. **1**, 11a), $D = \frac{P}{\alpha} = \frac{\pi}{2}\,\Phi \cdot \frac{r^4}{l}$. Отсюда продолжительность крутильнаго колебанія t

массы, моментъ инерціи которой относительно этой проволоки равенъ K [$см^2\, г$] (см. **1**, 12), опредѣляется въ *сек* равенствомъ $t^2 = \pi^2 \frac{K}{D} = \frac{1}{\Phi} 2\pi K \frac{l}{r^4}$. Слѣдовательно, если t опредѣлено наблюденіемъ, то

$$\Phi = 2\pi \frac{K}{t^2} \frac{l}{r^4}.$$

Модуль крученія F, выраженный въ *кг*-вѣсъ / $мм^2$, равенъ $\frac{1}{98100000} \Phi$ (см. стр. 128).

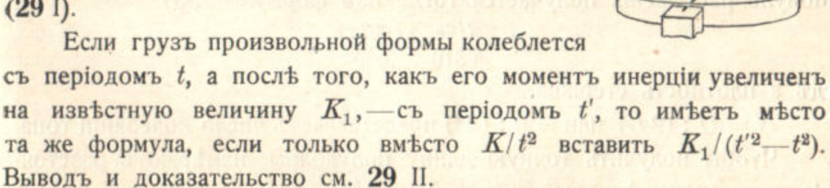
Можно измѣрять l и r въ *мм*, а K въ $кг \cdot мм^2$; тогда получается, если положить $g = 9810\, мм \cdot сек^{-2}$:

$$F = 2\pi / g \,.\, Kl / (t^2 r^4).$$

F, въ среднемъ, $= \frac{2}{5} E$; (**52**). Во всякомъ случаѣ $\frac{1}{2} E > F > \frac{1}{3} E$.

Къ вертикальной, зажатой вверху проволокѣ длины l и радіуса r подвѣшиваютъ грузъ, моментъ инерціи котораго $= K\, кг \cdot мм^2$, приводятъ его въ крутильныя колебанія и наблюдаютъ періодъ ихъ t въ *сек* (**28**); тогда остается вычислить модуль крученія F по предыдущей формулѣ или, такъ какъ $2\pi / 9810 = 0{\cdot}0006405$,

$$F = 0{\cdot}0006405 \frac{K}{t^2} \frac{l}{r^4} \text{ кг-вѣсъ} / мм^2.$$



Для цилиндра (диска) радіуса R и массы M моментъ K относительно вертикальной оси $= \frac{1}{2} R^2 M$ (**29** I).

Если грузъ произвольной формы колеблется съ періодомъ t, а послѣ того, какъ его моментъ инерціи увеличенъ на извѣстную величину K_1, — съ періодомъ t', то имѣетъ мѣсто та же формула, если только вмѣсто K/t^2 вставить $K_1/(t'^2 - t^2)$. Выводъ и доказательство см. **29** II.

56. Опредѣленіе скорости звука по пыльнымъ фигурамъ (Кундтъ)

Скорость звука u_0 въ сухомъ атмосферномъ воздухѣ при 0^0 равна 331 *м / сек*, а при температурѣ t $u = 331 \,.\, \sqrt{1 + 0{\cdot}00367 t}$ *м / сек* (см. ниже). Среднюю влажность воздуха при комнатной температурѣ принимаютъ приблизительно во вниманіе, взявъ вмѣсто 0·00367 число 0·004 (**18**).

Два потока волнъ длины λ, идущихъ навстрѣчу другъ другу, образуютъ стоячія волны съ разстояніемъ между узлами $l = \frac{1}{2}\lambda$. Поэтому число колебаній = скорости распространенія : ($2l$).

I. Скорость звука въ стержняхъ. Крѣпко зажимаютъ посрединѣ горизонтально положенный стержень. Конецъ E трутъ про-

дольно, другой вдвинутъ въ вычищенную и высушенную стеклянную трубу шириной, по крайней мѣрѣ, въ 25 *мм*, закрытую на другомъ концѣ плотно входящей подвижной пробкой S и содержащую немного ликоподія или стертой въ пыль пробки, или кремневаго ангидрида. Толчки, сообщаемые воздуху свободнымъ концомъ, вызываютъ въ трубѣ стоячія воздушныя волны, благодаря которымъ пыль распредѣляется въ періодическія фигуры. Передвигая S, легко находятъ правильное положеніе, при которомъ движенія пыли наиболѣе энергичны. Можно также наглухо закупорить трубу у S и смѣщать не пробку уже, а всю трубу.—Къ стержню съ небольшимъ поперечнымъ сѣченіемъ приклеиваютъ для усиленія передачи толчковъ воздушному столбу легкій кружокъ, пробочный или картонный.

Если l разстояніе между сосѣдними узлами, т. е. полуволна въ воздухѣ, а L длина натираемаго стержня, т. е. полуволна въ стержнѣ (см. **53**), то скорость звука въ стержнѣ опредѣляется соотношеніемъ $U : u = L : l$, откуда

$$U = 331\sqrt{1 + 0{\cdot}004t}\,.\,\frac{L}{l}\,\frac{м}{сек}\,.$$

Модуль растяженія получается тогда изъ формулы (**53**)

$$E = \frac{U^2 s}{9810}\,\frac{кг\text{-}вѣсъ}{мм^2}\,,$$

гдѣ s плотность стержня.

$N = U : (2L)$ или $= u : (2l)$ представляетъ число колебаній тона.

Чтобы получить точную длину полуволны, измѣряютъ разстояніе пары (или нѣсколькихъ паръ) узловъ, лежащихъ возможно дальше другъ отъ друга, и дѣлятъ на число лежащихъ между ними полуволнъ.

Примѣръ. Стеклянный стержень длиной въ 900 *мм* далъ при температурѣ 17^0 пыльныя полуволны длиной $l = 62{\cdot}9$ *мм*. Скорость звука въ стеклѣ была, слѣдовательно, $331\sqrt{1 + 0{\cdot}004\,.\,17}\,.\,900/62{\cdot}9 = 4890$ *м/сек*; а модуль растяженія стекла, плотность котораго была 2·7 (**15** В 1 или 3),

$$E = 4890^2\,.\,2{\cdot}7/9810 = 6580\ кг\text{-}вѣсъ/мм^2.$$

Болѣе длинные стержни можно зажимать не посрединѣ, а на разстояніяхъ 1/4 длины отъ концовъ; трутъ посрединѣ: въ этомъ случаѣ длина волны въ стержнѣ равна всей длинѣ стержня, слѣдовательно, U, вычисленное, какъ выше, нужно раздѣлить на 2.

II. Скорость звука въ газахъ. Образуютъ въ газѣ пыльныя волны посредствомъ источника звука съ извѣстнымъ числомъ колебаній N. По длинѣ полуволны l находятъ скорость распространенія $= N \, . \, 2l$. См. **57**, 4.

Можно также дѣйствовать однимъ и тѣмъ же стержнемъ, по I, на воздухъ и изслѣдуемый газъ; скорости звука относятся, какъ длины пыльныхъ волнъ. Число для воздуха смотри въ началѣ отрывка.

Раздѣливъ на $\sqrt{1 + 0{\cdot}00367\,t}$, приводятъ наблюденную при температурѣ t скорость къ 0^0.

Теорія. Пусть s плотность, Δ давленіе газа, измѣренное въ единицахъ CGS (*дина/см*^{2}); далѣе, c_p теплоемкость газа при постоянномъ давленіи (газъ свободно расширяется при нагрѣваніи), c_v теплоемкость при постоянномъ объемѣ (газу препятствуютъ расширяться), $k = c_p / c_v$ отношеніе теплоемкостей, которому пропорціонально нагрѣваніе при быстромъ сгущеніи. Тогда для скорости распространенія u звуковыхъ волнъ имѣетъ мѣсто, по Лапласу, соотношеніе

1) $$u^2 = k \frac{\Delta}{s} \left(\frac{см}{сек}\right)^2.$$

Если обозначить черезъ h давленіе, измѣренное въ *см* ртутнаго столба при 0^0 подъ 50^0 географической широты, то $\Delta = 13340 h$ (См. **1**, Nr. 8). Если, далѣе, s_0 удѣльный вѣсъ при 0^0 и 76 *см* ртутнаго столба и t наблюденная температура, то $s = s_0 \frac{h}{76} \frac{1}{1 + \alpha t}$, гдѣ $\alpha = 0{\cdot}00367$ (стр. 56). Если вставить эти выраженія для Δ и s въ ур. (1), то h выпадаетъ (скорость звука не зависитъ отъ давленія), и получается:

$$u^2 = \frac{k}{s_0} 13340 \, . \, 76 \, (1 + \alpha t) = 1013800 \frac{k}{s_0} (1 + \alpha t) \left(\frac{см}{сек}\right)^2$$

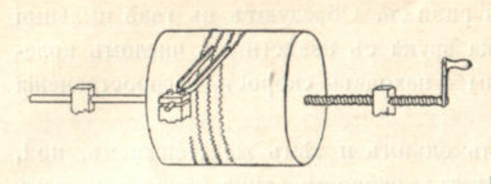
(2) $$= 101{\cdot}38 \frac{k}{s_0} (1 + \alpha t) \left(\frac{м}{сек}\right)^2.$$

Отношеніе теплоемкостей k для обыкновенныхъ постоянныхъ газовъ съ двуатомной молекулой (H_2, O_2, N_2, CO, NO, также воздухъ) приблизительно $= 1{\cdot}40$, для одноатомныхъ (He, A и т. д., также пары Hg) $= 1{\cdot}66$, для остальныхъ $< 1{\cdot}40$ (CO_2, напримѣръ, 1·30). — Для воздуха $k = 1{\cdot}40$ и $s_0 = 0{\cdot}001293$; вставивъ это въ уравненіе (2), находимъ данное выше значеніе u.

Пользуясь выраженіемъ (2), можно опредѣлить плотность газа, если извѣстно k, и наоборотъ, отношеніе теплоемкостей при данномъ s_0.

57. Число колебаній тона

1. Графически. Чтобы опредѣлить число колебаній, можно укрѣпить звучащее тѣло возлѣ камертона съ извѣстнымъ числомъ



колебаній предъ движущейся закопченой поверхностью (например, валъ на винтовой оси), приклеить къ обоимъ легкія гибкія острія (полоски изъ ствола пера) и заставить чертить синусоидальныя кривыя. Сосчитываютъ рядомъ лежащія волны.

2. Изъ біеній. Камертоны или другіе источники звука, дающіе приблизительно одинъ и тотъ же тонъ или простой интервалъ (октава, квинта, терція), можно сравнить между собой по числу біеній, которыя они совмѣстно образуютъ. Каждое біеніе соотвѣтствуетъ упрежденію одного тона на цѣлое колебаніе. Если неизвѣстно, который изъ тоновъ выше, можно одинъ изъ нихъ слегка понизить. Если вслѣдствіе этого біенія замедляются, то этотъ тонъ былъ болѣе высокимъ, и наоборотъ. Тонъ камертона можно понизить болѣе значительно или произвольно мало посредствомъ кусочка каучуковой трубки, смотря по тому, сдвинутъ ли онъ ближе къ концу или къ срединѣ; тонъ трубы можно понизить, приближая къ отверстію руку.

3. Монохордомъ. Число колебаній N основного тона мягкой струны длиной l *м*, натянутой грузомъ P, опредѣляется формулой

$$N = \frac{1}{2l}\sqrt{\frac{9{\cdot}81\,P}{p}}\cdot$$

гдѣ p вѣсъ 1 *м* струны, выраженный въ тѣхъ же единицахъ, что и P, а p/g его масса.

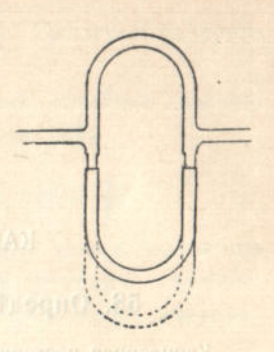
Измѣняя длину или натяженіе, можно, слѣдовательно, получить для цѣлей сравненія любую, вычисляемую по формулѣ высоту тона. Собственная упругость струны нѣсколько увеличиваетъ число колебаній. Подходитъ здѣсь тонкая мягкая латунная проволока, а еще лучше серебряная. — См. также **53**, интервалы.

4. Изъ длины волны въ воздухѣ. Если u скорость распространенія, λ длина волны тона въ воздухѣ, то $N = u/\lambda$. Относительно u см. стр. 133.

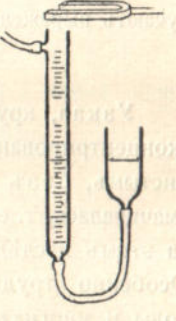
Такимъ образомъ можно опредѣлить высоту тона при продольныхъ колебаніяхъ стержня, напримѣръ, по пыльнымъ фигурамъ (**56**).

Болѣе слабые тоны (напримѣръ, камертоновъ) можно изслѣдовать, наблюдая субъективно интерференцію двухъ потоковъ волнъ, слѣдующимъ образомъ (Квинке). Звукъ вступаетъ въ отверстіе раз-

вѣтвляющагося дальше канала, одна изъ вѣтвей котораго выдвижная, какъ въ музыкальныхъ трубахъ, вслѣдствіе чего ея длину можно измѣряемымъ образомъ мѣнять. Другой конецъ канала соединяютъ каучуковой трубкой съ ухомъ; другое ухо затыкаютъ ватой. Подыскиваютъ такое положеніе выдвижной вѣтви, при которомъ сила звука наименьшая; продолжая затѣмъ смѣщать, находятъ новое положеніе, при которомъ сила звука снова достигаетъ минимума. Сумма смѣщеній обоихъ колѣнъ выдвижной трубки даетъ длину волны; дѣйствительно, оба потока волнъ интерферируя взаимно ослабляются всякій разъ, какъ ихъ пути разнятся на нечетное число полуволнъ.



Другой сходный способъ основанъ на интерференціи волнъ, идущихъ непосредственно отъ источника звука, и волнъ отраженныхъ. Приборъ состоитъ изъ вертикальной стеклянной трубки, шириной около 30 *мм*, съ дѣленіями, имѣющей вверху боковой тубусъ съ надѣтой на него каучуковой трубкой. Дномъ трубы, отъ котораго волны отражаются, является поверхность воды, уровень которой можно мѣнять измѣряемымъ образомъ. Наблюдаютъ, какъ раньше, черезъ каучукъ и устанавливаютъ поверхность воды на минимумъ силы звука; между двумя такими положеніями заключена какъ-разъ длина полуволны.



КАПИЛЯРНОСТЬ И ТРЕНІЕ

58. Опредѣленіе капилярной постоянной

Капилярная постоянная (поверхностное натяженіе) α жидкости есть вѣсъ жидкости (въ *мг*), удерживаемой единицей длины (*мм*) линіи соприкосновенія поверхности съ совершенно смачиваемой стѣнкой. — Поверхность сферической формы радіуса r производитъ на свою вогнутую сторону молекулярное давленіе $\alpha \, . \, 2/r$. Пусть, при другой формѣ, r_1 и r_2 соотвѣтственно наибольшій и наименьшій радіусы кривизны въ какой-либо точкѣ поверхности; тогда въ этой точкѣ господствуетъ молекулярное давленіе $\alpha(1/r_1 + 1/r_2)$: законъ Лапласа.

Умноживъ α, измѣренное въ *мг*-вѣсъ/*мм*, на $10 \, . \, 981/1000 = 9{\cdot}81$, получаютъ выраженіе этой величины въ единицахъ CGS (см. **1**, Nr. 7).

I. Изъ высоты поднятія

Узкая, круглая цилиндрическая трубка тщательно очищается (концентрированной сѣрной кислотой, растворомъ ѣдкой щелочи, чистымъ, безъ жира, алкоголемъ) настолько, чтобы она вполнѣ смачивалась, т. е. чтобы краевой уголъ = нулю, споласкивается вслѣдъ за этимъ изслѣдуемой жидкостью и ставится въ нее вертикально. Особенно трудно добиться дѣйствительнаго смачиванія въ случаѣ воды и многихъ водныхъ растворовъ. Предъ отчитываніемъ высоты поднятія капилярную трубку приподымаютъ, чтобы менискъ пришелся у мѣста, бывшаго передъ тѣмъ долгое время въ соприкосновеніи съ жидкостью, и быстро дѣлаютъ отчетъ. Если H высота поднятія жидкости, s ея удѣльный вѣсъ и r внутренній радіусъ трубки въ *мм*, то капилярная постоянная

$$\alpha = \tfrac{1}{2} r \, H s \; мг\text{-вѣсъ}/мм.$$

Доказательство. Окружность внутренняго сѣченія $= 2\pi r$, поднятая масса $= \pi r^2 Hs$: слѣдовательно, единица длины окружности удерживаетъ вѣсовое количество $\frac{1}{2} r Hs$. — Или: радіусъ кривизны поверхности въ формѣ полусферы $= r$, слѣдовательно, давленіе (отрицательное) на жидкость, обусловленное кривизной ея поверхности, равно $\alpha \, . \, 2/r$; оно должно равняться отрицательному гидростатическому давленію Hs.

H должно быть велико сравнительно съ r. Высоту H слѣдуетъ считать на $\frac{1}{3}r$ выше нижней точки мениска.

Опредѣленіе радіуса r. Если ртутный столбикъ длиною l *мм* при температурѣ t вѣситъ m *мг*, то въ *мм* **(24)**

$$r = \sqrt{\frac{1}{\pi}\,\frac{m}{l}\,\frac{1+0{\cdot}00018t}{13{\cdot}60}} \text{ или, при } 18^0,\ r = 0{\cdot}1533\sqrt{\frac{m}{l}}.$$

Важенъ, главнымъ образомъ, радіусъ у верхняго конца поднятаго столбика жидкости, поэтому измѣряютъ длину ртутнаго столбика въ тотъ моментъ, когда его средина совпадаетъ съ этимъ мѣстомъ.

II. Отрываніемъ на вѣсахъ

Подвѣшиваютъ вертикально на вѣсахъ полоску тонкой листовой платины шириной около 25 *мм*, платинированной въ нижней части, смачиваютъ нижній край и послѣ этого уравновѣшиваютъ. Приближаютъ поверхность жидкости, пока она не коснется нижняго края въ тотъ моментъ, когда вѣсы находятся въ положеніи равновѣсія.

Компенсируютъ поверхностное натяженіе, тянущее теперь полоску книзу, добавляя постепенно разновѣсокъ, пока не произойдетъ отрываніе. Если P отрывающій грузъ въ *мг* и l длина края въ *мм*, то

$$\alpha = \frac{P}{2l}\,\frac{мг}{мм}.$$

Для быстраго измѣренія удобны вѣсы Мора. На рисункѣ стр. 48 подвѣшиваютъ слѣва полоску, справа уравновѣшивающій противовѣсъ. Если рейтера вѣсятъ, какъ обыкновенно, 5 *г*, 0·5 *г*..., то, пользуясь полоской въ 25 *мм* ширины, можно отчитывать α прямо, включая и постановку запятой.

III. Изъ длины волнъ на поверхности жидкости

Распространеніе очень короткихъ волнъ на поверхности жидкости происходитъ почти исключительно насчетъ поверхностнаго натяженія. Если λ длина волны, а N число колебаній, то скорость распространенія u, или $N\lambda$ опредѣляется соотношеніемъ

$$u^2 = \lambda^2 N^2 = 2\pi g\,\frac{\alpha}{s}\,\frac{1}{\lambda},$$

откуда, положивъ $g = 9810$ *мм/сек*^{2},

$$\alpha = \frac{1}{2\pi}\,s\,\frac{\lambda^3 N^2}{g} = \frac{1}{61600}\,s\lambda^3 N^2\,\frac{мг\text{-}вѣсъ}{мм}.$$

Приклеиваютъ къ ножкамъ камертона съ извѣстнымъ N (**57**; табл. 17. Высота тона, примѣрно, между c и c_1) двѣ легкихъ палочки, приводятъ ихъ въ соприкосновеніе съ поверхностью жидкости и возбуждаютъ камертонъ. Между остріями образуются стоячія волны, λ которыхъ (удвоенное разстояніе между сосѣдними гребнями волнъ) измѣряется въ *мм* циркулемъ и масштабомъ.

IV. По вѣсу капель

Круглая горизонтальная поверхность радіуса r можетъ удерживать каплю вѣсомъ самое большее $2\pi r \,.\, \alpha$ *мг*; однако этотъ предѣлъ достигается лишь при особыхъ условіяхъ. Падающія капли бываютъ всегда меньше. Выбравъ r между 2·5 и 3·5 *мм*, можно положить вѣсъ капли m равнымъ, приблизительно, $0{\cdot}62 \,.\, 2\pi r\alpha$ или $3{\cdot}9 \,.\, r\alpha$.

Выпускаютъ жидкость по каплямъ очень медленно изъ вертикальной толстостѣнной капилярной трубки, плоско отшлифованной внизу и очень хорошо въ этомъ мѣстѣ смоченной; взвѣшиваютъ отсчитанное количество капель. Если вѣсъ отдѣльной капли m *мг*, а наружный радіусъ трубки r *мм* (выбирать между 2·5 и 3·5 *мм*, а для воды и водныхъ растворовъ даже до 5 *мм*), то $\alpha = m/(3{\cdot}9r)$.

Способъ подверженъ, понятно, различнымъ источникамъ ошибокъ.

59. Опредѣленіе коэффиціента внутренняго тренія жидкости по истеченію изъ капилярной трубки

Вязкость жидкости измѣряется ея коэффиціентомъ внутренняго тренія η, опредѣленіе котораго производится обыкновенно на основаніи закона Пуазейля о теченіи жидкости въ капилярной трубкѣ. Черезъ такую трубку длины l и радіуса r, или съ поперечнымъ сѣченіемъ q (**24**), вытекаетъ подъ давленіемъ p за время τ объемъ жидкости

$$v = \frac{1}{\eta}\,\frac{\pi}{8}\,\frac{r^4}{l}\,p \,.\, \tau \quad \text{или} \quad = \frac{1}{\eta}\,\frac{1}{8\pi}\,\frac{q^2}{l}\,p \,.\, \tau.$$

Время измѣряютъ въ *сек*, пространственныя величины въ *см*, давленіе въ *г*-вѣсъ/*см*^{2} или въ динахъ на *см*^{2} (**1**, 7 и 8); η выражается соотвѣтственно въ *сек* · *г*-вѣсъ/*см*^{2} или въ единицахъ CGS, т. е. въ $см^{-1}\ г\ сек^{-1}$, числомъ $[\eta]$ въ 981 разъ большимъ.

η сильно уменьшается съ повышеніемъ температуры t. Для воды имѣемъ

$t =$	14°	15	16	17	18	19	20	21	22	23°	
$10^8\eta =$	1196	1162	1132	1103	1075	1049	1023	999	976	954	*сек* · *г*-вѣсъ/*см*^{2}
$10^5[\eta] =$	1173	1140	1110	1082	1055	1029	1004	980	957	936	CGS.



Измѣреніе производится проще всего посредствомъ вертикальной капилярной трубки, къ которой вверху припаяна или присоединена посредствомъ каучука груша отъ 10 до 100 $см^3$ вмѣстимости, считая отъ мѣтки на верхней шейкѣ груши до нижней; смотри рисунокъ. Нижнимъ концомъ капилярная трубка входитъ сквозь пробку въ сосудъ съ жидкостью, которую всасываютъ отсюда въ грушу. Затѣмъ даютъ жидкости, заключенной между двумя мѣтками, вытекать подъ собственнымъ давленіемъ и наблюдаютъ время. Объемъ v между мѣтками опредѣляется взвѣшиваніемъ (**23**). Если сосудъ симметриченъ кверху и книзу, то за высоту h, опредѣляющую давленіе, принимаютъ среднюю высоту верхняго резервуара надъ среднимъ уровнемъ жидкости въ нижнемъ сосудѣ; поэтому отмѣчаютъ алмазной чертой уровень жидкости въ верхнемъ резервуарѣ, наполненномъ до половины своего объема. Среднее сѣченіе q трубки опредѣляютъ взвѣшиваніемъ со ртутью (**24** и стр. 138).

Такъ какъ давленіе $p = hs$ *г*-вѣсъ/*см*^{2} или $= 981\, hs$ *динъ*/*см*^{2}, то изъ закона Пуазейля слѣдуетъ

$$\eta = \frac{1}{8\pi}\frac{q^2}{vl} hs \,.\, \tau \; \frac{г\text{-вѣсъ} \cdot сек}{см^2} \quad \text{или} \quad [\eta] = \frac{981}{8\pi}\frac{q^2}{vl} hs \,.\, \tau \text{ CGS}.$$

Чтобы законъ Пуазейля былъ примѣнимъ, вытеканіе должно происходить достаточно медленно.

$+1^0$ температуры уменьшаетъ вязкость на нѣсколько процентовъ. Конструкція изображеннаго на рисункѣ прибора позволяетъ ставить его въ ванну. Черезъ хорошо пригнанную каучуковую пробку трубки, капилярная и воздухоотводная, входятъ въ запасной сосудъ.

Примѣръ. Объемъ $v = 10{\cdot}31$ *см*^{3}; длина трубки $l = 30{\cdot}14$ *см*; 26·43 *см* трубки заключаютъ 1·092 *г* Hg при 18^0; слѣдовательно, сѣченіе

$$q = \frac{1{\cdot}092}{26{\cdot}43 \,.\, 13{\cdot}596\,(1 - 0{\cdot}00018 \,.\, 18)} = 0{\cdot}003049 \;\; см^2.$$

Вода при 18·5^0; высота $h = 35{\cdot}26$ *см*. Время вытеканія $\tau = 253{\cdot}5$ *сек*. Слѣдовательно,

$$\eta = \frac{1}{8\pi}\;\frac{0{\cdot}003049^2 \,.\, 35{\cdot}26 \,.\, 0{\cdot}9985 \,.\, 253{\cdot}5}{30{\cdot}14 \,.\, 10{\cdot}31} = 0{\cdot}00001062 \; г\text{-вѣсъ} \cdot сек/см^2,$$

$$[\eta] = 0{\cdot}01042\,[см^{-1} \;\; г \;\; сек^{-1}].$$

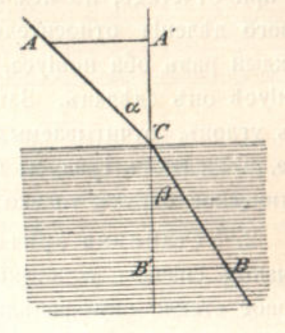
Относительное опредѣленіе. Пользуются предыдущимъ или подобнымъ приспособленіемъ, но, не вымѣряя его, сравниваютъ при одинаковыхъ условіяхъ времена вытеканія изслѣдуемой жидкости и какой-нибудь извѣстной (воды, см. выше). Если τ и τ' времена, s и s' удѣльные вѣса, то коэффиціенты тренія находятся въ соотношеніи

$$\eta : \eta' = s\tau : s'\tau'.$$

СВѢТЪ

60. Показатель преломленія призмы. Спектрометръ

При переходѣ свѣтового луча изъ одного тѣла („среды") I въ другое II отношеніе синуса угла паденія α къ синусу угла преломленія β сохраняетъ постоянную величину и называется показателемъ преломленія n второго тѣла относительно перваго: такимъ образомъ $n = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta}$.



Геометрически $\sin \alpha = AA' / AC$ и $\sin \beta = BB' / BC$ или, если $AC = BC = 1$, $\sin \alpha = AA'$ и $\sin \beta = BB'$. Синусы и логариѳмы см. табл. 30, 31.

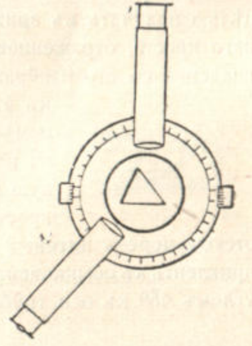
Число n представляетъ въ то же время отношеніе скоростей свѣта или, что сводится къ тому же, длинъ волнъ въ первомъ и второмъ тѣлахъ.

Если лучъ вступаетъ въ тѣло изъ воздуха, то n называется просто показателемъ преломленія тѣла. При переходѣ изъ среды съ показателемъ n_1 въ среду съ показателемъ n_2 относительный показатель преломленія $= n_2 / n_1$. При переходѣ изъ пустоты въ воздухъ показатель преломленія равенъ 1·0003; умножая на это число показатель преломленія, наблюдаемый въ воздухѣ, „приводятъ его къ пустотѣ".

Для опредѣленія показателя преломленія тѣлу придаютъ большею частью форму призмы; твердое тѣло шлифуется, жидкость наливается въ призму изъ плоскопараллельныхъ стеклянныхъ пластинокъ. Показатель преломленія вычисляется по углу отклоненія луча при прохожденіи сквозь призму и углу между преломляющими гранями („преломляющему углу"); см. стр. 146, 147.

Спектрометръ. Общія правила

Спектрометръ (гоніометръ) состоитъ изъ раздѣленнаго круга, столика для призмы, трубы со щелью (коллиматора) и зрительной трубы. Неподвижный по большей части коллиматоръ снабженъ на наружномъ концѣ щелью, ширину которой можно мѣнять, а со стороны, обращенной къ призмѣ,—линзой, главный фокусъ которой долженъ лежать въ плоскости щели, чтобы каждый свѣтовой пучекъ, исходящій изъ какойнибудь точки щели, вступалъ въ призму параллельнымъ пучкомъ. Щель замѣняетъ такимъ образомъ безконечно удаленный свѣтящійся предметъ. Зрительная труба, вращающаяся вмѣстѣ съ кругомъ или независимо отъ него, должна давать отчетли-



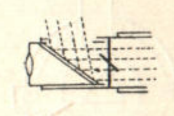
вое изображеніе щели, должна быть, слѣдовательно, установлена на параллельные лучи, „на безконечность". Для нѣкоторыхъ методовъ необходимо измѣрять также углы вращенія призмы, нужно, слѣдовательно, чтобы столикъ могъ скрѣпляться съ вращающимся раздѣленнымъ кругомъ, а зрительная труба — устанавливаться при этомъ неподвижно.

1. Отчетъ по кругу. Примѣненіе при отчетахъ по кругу двухъ діаметрально противоположныхъ точекъ не только уменьшаетъ ошибки при отчетахъ, но исключаетъ также вліяніе эксцентричности кругового дѣленія относительно оси вращенія. Поэтому наблюдаютъ каждый разъ оба ноніуса, отмѣчая при каждомъ отчетѣ, на какомъ ноніусѣ онъ сдѣланъ. Затѣмъ берутъ или среднее ариѳметическое изъ угловъ, отчитываемыхъ при каждомъ ноніусѣ, или, что удобнѣе, вычисляютъ градусы по одному изъ ноніусовъ, а среднее ариѳметическое берутъ только изъ долей градуса (минутъ).

2. Установка зрительной трубы на безконечность. Получаютъ сначала отчетливое изображеніе нитянаго креста, смѣщая первое стекло окуляра или самый нитяный крестъ. Затѣмъ направляютъ трубу на очень удаленный предметъ и, смѣщая выдвижную часть трубы, устраняютъ параллаксъ изображенія этого предмета относительно нитянаго креста, т. е. ихъ взаимное смѣщеніе при боковомъ движеніи глаза. Если есть приспособленіе для освѣщенія нитянаго креста, то безконечно удаленный предметъ можетъ быть замѣненъ зеркальнымъ изображеніемъ нитянаго креста въ плоскопараллельной стеклянной пластинкѣ. Ср. Nr. 4 этого отрывка.

3. Установка коллиматора на параллельность лучей. Наводятъ трубу, установленную на безконечность, на освѣщенную щель и выдвигаютъ коллиматоръ до исчезновенія параллакса изображенія щели относительно нитянаго креста.

4. Приспособленіе для освѣщенія нитянаго креста имѣетъ цѣлью получать въ зрительной трубѣ зеркальное изображеніе ея же нитянаго креста, отраженное отъ какой-либо плоскости и, приводя крестъ къ совпаденію съ его изображеніемъ, устанавливать трубу точно перпендикулярно къ этой плоскости. Освѣщеніе производится посредствомъ помѣщеннаго сбоку пламени, свѣтъ отъ котораго падаетъ на плоскопараллельную стеклянную пластинку, вставленную наклонно между окуляромъ (гауссовымъ) и нитянымъ крестомъ, или на небольшую отражательную призму и отсюда черезъ нитяный крестъ отбрасывается къ объективу. Можно также приклеить къ обыкновенному окуляру спереди стеклянную пластиночку подъ угломъ 45⁰ къ оси трубы и освѣщать ее сбоку. — Если труба установлена



на безконечность, то лучи, исходящіе отъ какой-либо точки нитянаго креста, выходятъ изъ объектива параллельнымъ пучкомъ и, попадая вновь въ грубу послѣ отраженія, напримѣръ, отъ грани призмы, даютъ отчетливое изображеніе нитянаго креста.

Пользуясь освѣщеннымъ нитянымъ крестомъ, можно провѣрить, перпендикулярна ли оптическая ось трубы къ ея оси вращенія. На столикъ спектрометра ставятъ плоскопараллельную стеклянную пластинку, зеркально отражающую съ обѣихъ сторонъ, напримѣръ, посеребренную, и оріентируютъ ее такимъ образомъ, чтобы нитяный крестъ и его изображеніе казались на одной высотѣ. Если оптическая ось перпендикулярна къ оси вращенія, то при поворотѣ трубы на 180^0 изображенія снова должны лежать на одной высотѣ.

Послѣ этого испытанія можно примѣнить освѣщенный нитяный крестъ для установки какой-нибудь зеркальной плоскости (грань призмы и т. п.) параллельно оси вращенія прибора. Именно, оріентируютъ эту плоскость такимъ образомъ, чтобы нитяный крестъ и его зеркальное изображеніе казались на одной высотѣ.

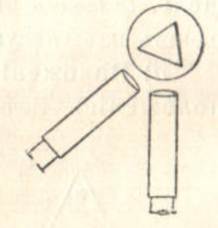
Если необходимо установить двѣ плоскости одного и того же тѣла (призмы), то оріентируютъ послѣднее такимъ образомъ, чтобы одна изъ плоскостей была перпендикулярна къ линіи, соединяющей два установочныхъ винта столика. Устанавливаютъ сперва эту плоскость, затѣмъ другую, пользуясь при этомъ однако только третьимъ установочнымъ винтомъ.

Показатель преломленія призмы

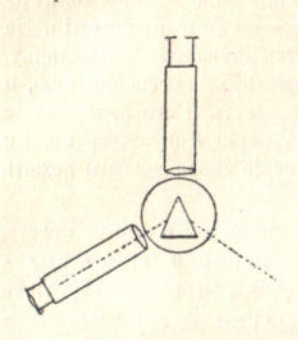
Измѣряются преломляющій уголъ призмы и отклоненіе луча.

I. Измѣреніе преломляющаго угла φ

a) Зрительная труба неподвижна, а призма вращается вмѣстѣ съ кругомъ. Призма устанавливается на столикѣ такъ, чтобы послѣ надлежащаго поворота круга одна изъ преломляющихъ граней могла принять положеніе, занимавшееся предъ этимъ другой. Зрительную трубу и коллиматоръ устанавливаютъ подъ возможно острымъ угломъ другъ къ другу, освѣщаютъ щель и вращаютъ затѣмъ кругъ съ призмой, пока видимое въ трубѣ изображеніе щели, отраженное въ одной изъ граней, не совпадетъ съ нитянымъ крестомъ. Дѣлаютъ отчетъ на кругѣ. Вращая кругъ съ призмой, выполняютъ аналогичную установку съ другой гранью и снова дѣлаютъ отчетъ. Разность отчетовъ, если, конечно, принять во вниманіе возможный переходъ черезъ нуль дѣленій, даетъ дополненіе преломляющаго угла φ до 180^0.



Если при зрительной трубѣ есть приспособленіе для освѣщенія нитянаго креста, то обходятся безъ коллиматора, вращая вмѣстѣ съ раздѣленнымъ кругомъ сначала одну. затѣмъ другую грань призмы такимъ образомъ, чтобы нитяный крестъ совпалъ со своимъ зеркальнымъ изображеніемъ въ грани.



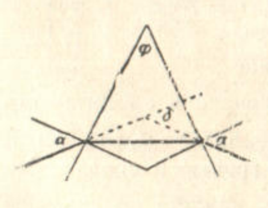
b) Призма неподвижна, а зрительная труба можетъ вращаться съ ноніусомъ или кругомъ. Устанавливаютъ призму такъ, чтобы равнодѣлящая преломляющаго угла, продолженная назадъ, проходила приблизительно черезъ щель. Послѣ этого зрительная труба наводится на зеркальное изображеніе щели въ каждой грани. Разность отчетовъ по кругу въ обоихъ положеніяхъ равна удвоенному преломляющему углу. Щель здѣсь должна быть тщательно установлена по Nr. 3 на безконечность.

Пользуясь освѣщаемымъ нитянымъ крестомъ, измѣряютъ преломляющій уголъ, приводя крестъ въ совпаденіе съ каждымъ изъ его зеркальныхъ изображеній въ обѣихъ граняхъ. Измѣренный уголъ поворота дополняетъ φ до 180^0.

II. Измѣреніе угла отклоненія

Здѣсь имѣется въ виду „однородный“ свѣтъ опредѣленной преломляемости (цвѣта, числа колебаній, длины волны; ср. стр. 148), напримѣръ, свѣтъ натріеваго пламени. Направленіе неотклоненнаго луча получаютъ, установивъ зрительную трубу непосредственно на щель. Вставивъ въ призму, вызываютъ отклоненіе луча, измѣряемое однимъ изъ слѣдующихъ методовъ:

a) Положеніе наименьшаго отклоненія (симметрическое положеніе). Величина отклоненія луча зависитъ отъ направленія, въ которомъ онъ проходитъ сквозь призму Отклоненіе — наименьшее при симметричномъ пути луча (чертежъ). Чтобы получить это „положеніе наименьшаго отклоненія“, устанавливаютъ призму и зрительную трубу такъ, чтобы отклоненный лучъ попалъ въ трубу, затѣмъ медленно вращаютъ призму и слѣдуютъ трубой за смѣщающимся изображеніемъ. Въ положеніи наименьшаго отклоненія изображеніе движется въ одну и ту же сторону при вра-



щеніи призмы какъ влѣво, такъ и вправо; закрѣпляютъ въ этомъ положеніи призму, наводятъ крестъ на щель и дѣлаютъ отчетъ на кругѣ. Вычтя этотъ отчетъ изъ отчета при прямой установкѣ на щель, получаютъ уголъ отклоненія δ. Вмѣсто прямой установки на щель гораздо лучше отклонить свѣтовой лучъ призмой въ положеніи наименьшаго отклоненія одинъ разъ влѣво, другой разъ вправо и взять полуразность отчетовъ при обоихъ положеніяхъ зрительной трубы.

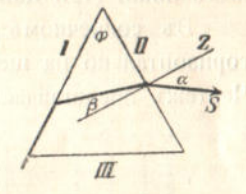
Показатель преломленія n опредѣляется формулой

$$n = \frac{\sin \frac{1}{2}(\delta + \varphi)}{\sin \frac{1}{2}\varphi},$$

гдѣ φ уголъ призмы.

Доказательство. Идущій симметрично сквозь призму лучъ образуетъ съ обѣими нормалями одинаковые углы, равные, очевидно, $\frac{1}{2}\varphi$; чертежъ на пред. стр. Пусть α уголъ паденія, а равно и выхода луча изъ призмы; тогда по закону преломленія $\sin\alpha = n \sin\frac{1}{2}\varphi$. Съ другой стороны, очевидно, $\alpha = \frac{1}{2}(\delta + \varphi)$. Изъ получающагося отсюда уравненія $\sin\frac{1}{2}(\delta + \varphi) = n \sin\frac{1}{2}\varphi$ и вытекаетъ приведенное выше выраженіе для n.

b) Скользящее вхожденіе. Призма неподвижна, зрительная труба можетъ вращаться вмѣстѣ съ кругомъ дѣленій или независимо отъ него. Щель не употребляется, одна изъ граней призмы (I) освѣщается скользящимъ по ея поверхности широкимъ свѣтовымъ пучкомъ, напримѣръ, натріевымъ пламенемъ, помѣщеннымъ на продолженіи грани. Тогда, если смотрѣть черезъ другую грань призмы, свѣтъ кажется рѣзко ограниченнымъ; наводятъ трубу



на линію раздѣла между свѣтомъ и темнотой. Задача сводится къ опредѣленію угла α между этимъ направленіемъ трубы S и нормалью Z къ грани II. Для этого наблюдаютъ второй разъ черезъ грань I, освѣщая скользящимъ пучкомъ грань II. При этомъ поворачиваютъ трубу вокругъ призмы и снова наводятъ ее на границу между свѣтомъ и темнотой. Если обозначить уголъ поворота, считая вокругъ грани III, черезъ w, то, очевидно, $\alpha = 90^0 - \frac{1}{2}(w - \varphi)$.

Для призмъ съ болѣе острымъ преломляющимъ угломъ этотъ уголъ α, а слѣдовательно, и $\sin\alpha$ отрицательны.

Вычисляютъ n по формулѣ

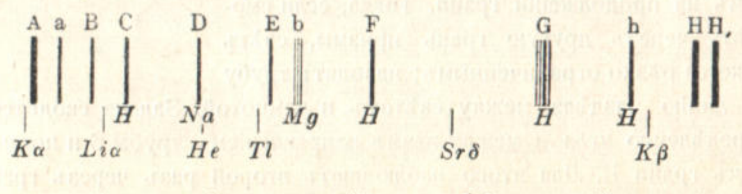
$$n^2 = 1 + \left(\frac{\cos\varphi + \sin\alpha}{\sin\varphi}\right)^2.$$

Дѣйствительно, $n = \frac{\sin\alpha}{\sin\beta}$ (чертежъ) и, при скользящемъ вхожденіи въ грань I, также $n = 1/\sin(\varphi - \beta)$. Исключеніе β изъ обоихъ уравненій даетъ написанную выше формулу.

Пользуясь освѣщаемымъ нитянымъ крестомъ, можно измѣрить α прямо, установивъ трубу, послѣ установки въ направленіи S, по нормали Z согласно Nr. 4.

Цвѣтъ. Длина волны. Спектръ. Преломляемость свѣта различна въ зависимости отъ его періода колебанія (цвѣта, длины волны). Она возрастаетъ съ увеличеніемъ числа колебаній въ секунду (съ уменьшеніемъ длины волны), въ порядкѣ цвѣтовъ: красный, оранжевый, желтый, зеленый, голубой, фіолетовый. Показатель преломленія долженъ, естественно, относиться къ одноцвѣтному свѣту опредѣленнаго періода колебанія. Одноцвѣтный (однородный) свѣтъ даютъ пары солей Na, Tl, также, до извѣстной степени, Li въ пламени бунзеновской горѣлки. Na Cl слѣдуетъ накаливать въ платиновомъ ушкѣ, въ виду растрескиванія его предъ плавленіемъ; онъ испаряется быстро, дольше служитъ Na_2CO_3 (прокаленная сода). Изъ газовъ, свѣтящихся при электрическомъ разрядѣ въ гейсслеровыхъ трубкахъ въ разрѣженномъ состояніи (см. также **64**, въ концѣ), особенно пригоденъ для измѣреній водородъ, дающій три спектральныхъ линіи (три цвѣта).

Въ солнечномъ свѣтѣ, направляемомъ съ помощью геліостата горизонтально на щель, пользуются фраунгоферовыми линіями. Чертежъ представляетъ распредѣленіе важнѣйшихъ изъ этихъ линій



въ видимой части призматическаго спектра сравнительно съ положеніемъ нѣкоторыхъ названныхъ выше линій. Для памяти полезно замѣтить, что въ призматическомъ спектрѣ линіи ADFGH расположены на равныхъ, приблизительно, разстояніяхъ другъ отъ друга. Ср. табл. 19, гдѣ даны также длины волнъ.

Чтобы увидѣть A и a, берутъ не слишкомъ узкую щель и помѣщаютъ предъ нею красное стекло. D, при узкой щели и достаточномъ увеличеніи, представляется тонкой двойной линіей.

Разность показателей преломленія для двухъ опредѣленныхъ цвѣтовъ (напримѣръ, для фраунгоферовыхъ линій B и H) называется **величиной дисперсіи** для этихъ цвѣтовъ.

61. Измѣреніе двуграннаго угла съ помощью отражательнаго гоніометра Волластона

Для измѣренія двугранныхъ угловъ въ очень малыхъ тѣлахъ необходимо особое установочное приспособленіе, которое имѣется, дѣйствительно, въ нѣкоторыхъ спектрометрахъ. Однако грани иныхъ кристалловъ столь несовершенны, что зеркальныя изображенія, полученныя отъ нихъ, удобнѣе наблюдать невооруженнымъ глазомъ, чѣмъ трубой.

Ось вращенія должна быть параллельна отдаленной **верхней горизонтальной** мѣткѣ O (край оконной рамы, конёкъ крыши); предполагается, что ребро измѣряемаго двуграннаго угла предварительно установлено параллельно оси (см. ниже). Держатъ глазъ вплотную предъ кристалломъ и, вращая кругъ, приводятъ къ совпаденію зеркальное изображеніе мѣтки O въ одной изъ граней кристалла съ непосредственно видимой другой, ниже расположенной, **также горизонтальной** мѣткой U (край пола, изображеніе верхней мѣтки въ укрѣпленномъ за гоніометромъ зеркалѣ) и дѣлаютъ отчетъ по кругу. Затѣмъ вращаютъ кругъ вмѣстѣ съ кристалломъ до совпаденія съ мѣткой U изображенія мѣтки O въ **другой** грани кристалла и снова дѣлаютъ отчетъ. Уголъ поворота дополняетъ искомый двугранный уголъ до 180^0.

Установка ребра параллельно оси. Для систематической оріентировки служитъ держатель съ приспособленіемъ для вращенія въ трехъ направленіяхъ. A ось круга, a, b, c установочныя оси, k укрѣпленный воскомъ кристаллъ.

1. Вращая вокругъ c, устанавливаютъ приспособленіе такъ, чтобы ось b составляла продолженіе A, т. е. оставалась параллельной себѣ при вращеніи A. Теперь, вращая вокругъ a, устанавливаютъ грань I кристалла параллельно A (см. объ этомъ ниже).

2. При вращеніи вокругъ оси c градусовъ на 60—90 положеніе грани I вообще измѣняется. Вращеніемъ вокругъ b устана ваютъ I снова параллельно A. Теперь I параллельна A и b.

довательно, перпендикулярна къ c. Вращеніе вокругъ c не измѣнитъ, слѣдовательно, положенія грани I.

3. Вращеніемъ вокругъ c устанавливаютъ грань II параллельно A.

При каждой слѣдующей установкѣ какой-либо оси нельзя больше вращать осей, установленныхъ раньше!

Установка грани параллельно оси A выполняется при помощи двухъ отдаленныхъ мѣтокъ, лежащихъ въ плоскости круга дѣленій и перпендикулярныхъ къ оси вращенія (вертикальный край оконной рамы и черта, проведенная подъ нимъ на полу; дымовая труба, громоотводъ и т. д. и соотвѣтствующее изображеніе въ неподвижномъ зеркалѣ гоніометра). Грань параллельна оси, если при подходящемъ вращеніи вокругъ A зеркальное изображеніе верхней мѣтки въ грани совпадаетъ съ нижней мѣткой.

62. Опредѣленіе показателя преломленія плоскопараллельной пластинки подъ микроскопомъ

Способъ не особенно точенъ, но важенъ своей простотой.

Пусть толщина пластинки d, а искомый показатель преломленія n.

Объектъ, разсматриваемый черезъ пластинку, кажется ближе на разстояніе $a = d(n-1)/n$. Дѣйствительно, если въ обоихъ треугольникахъ, имѣющихъ меньшимъ катетомъ e (чертежъ), на самомъ дѣлѣ очень остроугольныхъ, положить гипотенузы равными, приблизительно, катетамъ d и $d-a$, то $e/(d-a)$ и e/d представятъ соотвѣтственно синусы угловъ паденія и преломленія луча. Такимъ образомъ



$$n = d/(d-a) \text{ или } a = d(n-1)/n.$$

1. Предположимъ, что микроскопъ установленъ рѣзко на какой-нибудь объектъ. Если помѣстить между послѣднимъ и объективомъ плоскопараллельную пластинку, то прійдется увеличить разстояніе на a, чтобы снова отчетливо увидѣть объектъ. Показатель пластинки равенъ тогда

$$n = d/(d-a).$$

2. Пусть на передней и задней поверхностяхъ пластинки имѣется по отчетливо видимой точкѣ. Если для переустановки микроскопа съ одной изъ точекъ на другую необходимо смѣщеніе h, то, какъ ...ко вывести изъ предыдущаго,

мѣн.

$$n = d/h.$$

точном

3. На передней поверхности плоскопараллельной пластинки наносятъ бѣлой краской отчетливую мѣтку; устанавливаютъ на нее микроскопъ. Чтобы увидѣть зеркальное изображеніе мѣтки, отраженное отъ задней поверхности пластинки, необходимо уменьшить разстояніе между микроскопомъ и пластинкой на разстояніе h. Показатель преломленія равенъ

$$n = 2d / h.$$

По способу 3, освѣщаютъ пластинку падающимъ свѣтомъ, затемняя фонъ или, лучше, посеребривъ заднюю поверхность пластинки.

Для точнаго измѣренія величины необходимаго смѣщенія микроскопа можетъ служить установочный винтъ микроскопа, если извѣстенъ ходъ винта, и головка его снабжена дѣленіями.

О точности установки судятъ, лучше всего, по отсутствію параллакса изображенія относительно нитянаго креста въ окулярѣ. Наиболѣе пригоденъ короткофокусный объективъ не особенно большого діаметра. При такомъ объективѣ и довольно толстыхъ хорошихъ пластинкахъ можно разсчитывать еще на третью десятичную показателя преломленія.

63. Опредѣленіе показателя преломленія по углу полнаго отраженія

Для этого метода достаточно одной грани, причемъ тѣло можетъ быть и не вполнѣ прозрачнымъ.

Наибольшій уголъ преломленія x, подъ которымъ лучъ можетъ войти изъ воздуха въ среду съ показателемъ N, соотвѣтствуетъ скользящему вхожденію подъ угломъ паденія въ 90°, опредѣляясь соотношеніемъ $N = \sin 90 / \sin x = 1 / \sin x$ или $\sin x = 1 / N$. Лучъ, падающій изнутри подъ угломъ, большимъ x, не можетъ поэтому выйти наружу: онъ вполнѣ отражается. Наблюденіе угла полнаго отраженія даетъ, слѣдовательно, средство къ опредѣленію показателя преломленія.

Если лучъ, идущій изъ среды съ показателемъ N, попадаетъ на поверхность раздѣла между нею и средой съ меньшимъ показателемъ n, то въ предыдущихъ соотношеніяхъ вмѣсто N войдетъ N / n. Слѣдовательно, наблюденіе угла полнаго отраженія Φ даетъ соотношеніе

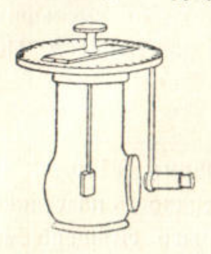
$$\frac{n}{N} = \sin \Phi,$$

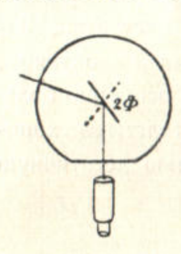
изъ котораго опредѣляется показатель одной изъ средъ, если извѣстенъ другой.

И въ этомъ методѣ точныя опредѣленія должны относиться къ свѣту одного опредѣленнаго цвѣта (стр. 148).

I. Рефлектометръ Кольрауша

Ось указателя, вращающагося надъ раздѣленнымъ кругомъ, продолжена внизъ, по другую сторону круга; къ нижнему концу ея прикрѣпляется на пробкѣ и т. п. изслѣдуемое тѣло, отражающая поверхность котораго должна проходить приблизительно черезъ ось вращенія. Для этой установки служитъ, во-первыхъ, лезвіе, во-вторыхъ, зеркало, параллельное оси (ни то, ни другое не изображены на чертежѣ); изображеніе глаза или небольшого пламени въ этомъ зеркалѣ и въ устанавливаемой грани должны казаться на одной высотѣ. Сзади и съ боковъ тѣло зачерняется тушью. Затѣмъ подводятъ снизу стеклянный сосудикъ съ сильно преломляющей жидкостью (сѣроуглеродъ 1·63, α-монобромонафталинъ 1·66, іодистый метилъ 1·74), чтобы тѣло было погружено въ ней; обертываютъ сосудикъ прозрачной шелковой бумагой, смоченной, если понадобится, керосиномъ, и освѣщаютъ сбоку натріевымъ пламенемъ. Небольшая зрительная труба должна быть установлена „на безконечность". При надлежащемъ, находимомъ путемъ пробъ положеніи отражающей грани и лампы — глазъ, аккомодированный на большое разстояніе или смотрящій въ трубу, увидитъ находящуюся въ полѣ зрѣнія поверхность грани раздѣленной на яркую и менѣе свѣтлую половины, на линію раздѣла которыхъ и производится установка.





Не совершенно плоскія поверхности, напримѣръ, естественныя грани кристалловъ, наблюдаютъ лучше всего безъ увеличивающей зрительной трубы, съ помощью, напримѣръ, діоптра съ полулинзой, черезъ которую отчетливо видна нить, тогда какъ другая половина глазного зрачка, не закрытая линзой, даетъ неувеличенное изображеніе грани, — или обращаютъ трубу окуляромъ къ грани и смотрятъ въ объективъ.

Вращая указатель, устанавливаютъ на линію раздѣла и дѣлаютъ отчетъ на кругѣ. Затѣмъ ставятъ лампу по другую сторону и, вращая грань, снова производятъ установку. Половина угла между обоими положеніями равна углу полнаго отраженія Φ между жидкостью и тѣломъ, и, слѣдовательно, $n = N \sin \Phi$, если N показатель преломленія жидкости.

Показатель преломленія чистаго сѣроуглерода равенъ для натріеваго свѣта 1·6277 при 20° и убываетъ на 0·00080 на $+1^{\circ}$. Температуру поэтому слѣдуетъ тщательно измѣрять. Ширма съ отверстіемъ, закрытымъ толстой стеклянной пластинкой, уменьшаетъ нагрѣваніе и одновременно затемняетъ фонъ.

Кристаллы. Двупреломляющіе объекты, обладая двумя показателями преломленія, даютъ вообще двѣ линіи раздѣла. Предполо-

жимъ, что данъ одноосный кристаллъ, срѣзанный перпендикулярно къ оси (смотри **70**). Выполнивъ описанныя выше измѣренія для внутренней и наружной паръ линій раздѣла, получаютъ наименьшій и наибольшій главные показатели преломленія кристалла. Лучъ, горизонтально поляризованный (т. е. исчезающій въ николевой призмѣ при вертикальномъ направленіи большей діагонали), — обыкновенный, другой — необыкновенный.

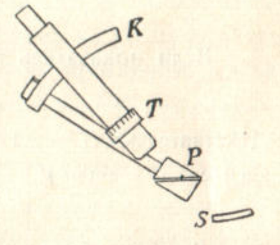
Показатель преломленія N жидкости въ склянкѣ

Для опредѣленія N съ помощью того же рефлектометра берутъ маленькую плоскопараллельную пластинку съ извѣстнымъ показателемъ преломленія n (напримѣръ, горный хрусталь 1·5442 и 1·5533 для Na) или слой воздуха за плоскопараллельной пластинкой. Тогда

$$N = \frac{n}{\sin \Phi} \quad \text{или, въ случаѣ воздуха,} \quad N = \frac{1}{\sin \Phi}\cdot$$

II. Рефрактометръ Аббе

Предназначенъ главнымъ образомъ для жидкостей. Достаточно одной капли, которую вводятъ между поверхностями раздѣла двойной призмы P изъ сильно преломляющаго (легко портящагося!) стекла. Для этого, положивши приборъ, сдвигаютъ осторожно одну изъ призмъ и, введя жидкость, вдвигаютъ обратно. — Здѣсь измѣряется предѣльный уголъ вхожденія, равный углу полнаго отраженія. Лучи, отбрасываемые освѣтительнымъ зеркаломъ къ жидкости, проникаютъ черезъ нее только внутри этого угла, такъ что при правильномъ наклонѣ двойной призмы поле зрѣнія въ трубѣ, установленной на параллельные лучи, кажется въ однородномъ свѣтѣ рѣзко разграниченнымъ.



Выдвигая окуляръ, получаютъ отчетливое изображеніе нитянаго креста. Пользуясь натріевымъ свѣтомъ, достаточно вращать призму съ указателемъ до совпаденія свѣтовой границы съ нитянымъ крестомъ: отчетъ по кругу прямо даетъ показатель преломленія жидкости для натріеваго свѣта.

Пользуясь обыкновеннымъ бѣлымъ свѣтомъ, находятъ вмѣстѣ съ тѣмъ дисперсію жидкости слѣдуюшимъ образомъ. Поле зрѣнія въ этомъ случаѣ кажется вообще окрашеннымъ. Устанавливаютъ компенсаторъ (т. е. раздѣленный барабанъ T, съ которымъ вращаются въ противоположныя стороны двѣ призмы прямого зрѣнія) такъ, чтобы окрашиваніе замѣнилось рѣзкой границей, приводятъ ее къ сов-

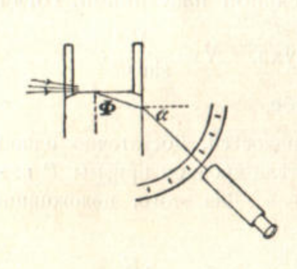
паденію съ нитянымъ крестомъ и дѣлаютъ отчеты при алидадѣ и на барабанѣ. Затѣмъ отыскиваютъ второе положеніе барабана съ рѣзкой границей, снова устанавливаютъ и дѣлаютъ отчеты.

Среднее изъ обоихъ отчетовъ при алидадѣ даетъ показатель преломленія для натріеваго свѣта; дисперсія вычисляется по таблицѣ, прилагаемой къ каждому прибору.

Для провѣрки дѣленій и, если понадобится, для составленія таблицъ поправокъ служатъ извѣстныя жидкости (табл. 19), особенно вода.

III. Рефрактометръ Пульфриха

Въ приборѣ пользуются не полнымъ отраженіемъ, а обратнымъ процессомъ, именно скользящимъ вхожденіемъ, что сводится однако къ тому же. Жидкость наливается на поверхность стекляннаго куба, для чего на немъ наклеенъ стеклянный цилиндръ. На разстояніи отъ 3/4 до 1 *м*, нѣсколько выше верхней грани куба, помѣщаютъ натріевое пламя и собираютъ при помощи линзы лучи на нижнемъ краѣ цилиндра. Труба, вращающаяся въ вертикальной плоскости, устанавливается на безконечность и наводится снизу на границу между свѣтомъ и темнотою. Раздѣленный кругъ трубы даетъ предѣльный уголъ α выхода луча съ нормалью къ грани выхода.



Если показатель преломленія стекла N, а жидкости n, то

$$n = \sqrt{N^2 - \sin^2 \alpha}.$$

Дѣйствительно, $N / n = 1 / \sin \Phi$, съ другой стороны, $N = \sin \alpha / \sin (90 - \Phi) = \sin \alpha / \cos \Phi = \sin \alpha / \sqrt{1 - n^2/N^2}$; слѣдовательно, $N^2 - n^2 = \sin^2 \alpha$ и

$$n = \sqrt{N^2 - \sin^2 \alpha}.$$

Должно быть $n < N$. Употребляются кубы, для которыхъ $N = 1{\cdot}615$ и $1{\cdot}78$. Прилагается таблица для n. Правильность установки раздѣленнаго круга можно провѣрить, пользуясь водой: $n_{15^\circ} = 1{\cdot}3337$, $n_{20^\circ} = 1{\cdot}3333$.

Можно изслѣдовать такимъ образомъ и твердыя тѣла въ формѣ пластинокъ, приклеивая ихъ къ грани куба каплей сильнѣе преломляющей жидкости.

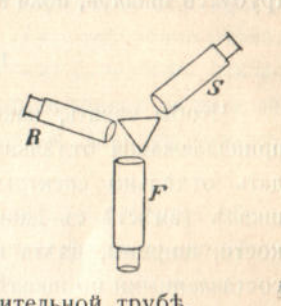
64. Спектральный анализъ (Бунзенъ и Кирхгофъ)

Для анализа свѣта (разложенія на цвѣта) получаютъ его спектръ большею частью путемъ преломленія въ призмѣ, или же диффракціей при прохожденіи или отраженіи отъ рѣшетки.

По составу свѣта можно судить о его происхожденіи. Раскаленныя твердыя и жидкія тѣла даютъ непрерывный спектръ, газы и пары — отдѣльные цвѣта, опредѣляемые главнымъ образомъ химической природой тѣлъ.

И по абсорбціи свѣта въ тѣлѣ можно вообще судить о его химическихъ свойствахъ. Газы или пары абсорбируютъ тѣ цвѣта, которые они при той же температурѣ, свѣтясь, испускаютъ.

Спектральный аппаратъ (спектроскопъ) опредѣляетъ характеръ цвѣта большею частью по расположенію его составныхъ частей на особой шкалѣ.



Обыкновенный спектральный аппаратъ (чертежъ) имѣетъ, какъ и спектрометръ, трубу F, коллиматоръ S и, кромѣ того, трубу R съ микрометренной шкалой. Изображеніе шкалы получается путемъ отраженія отъ грани призмы, обращенной къ зрительной трубѣ.

I. Установка спектральнаго аппарата

Слѣдуетъ придерживаться указаннаго ниже порядка операцій.

Щель должна соотвѣтствовать безконечно удаленному предмету и должна быть отчетливо видимой.

Если надлежащее положеніе выдвижной трубы коллиматора опредѣлено (конструкціей прибора), то остается только установить зрительную трубу на отчетливое видѣніе щели; въ противномъ случаѣ сперва наводятъ трубу на отдаленный предметъ, затѣмъ направляютъ ее на щель и смѣщаютъ послѣднюю, пока она не станетъ отчетливо видимой.

Призма должна быть въ положеніи наименьшаго отклоненія. Освѣщаютъ щель натріевымъ пламенемъ, ставятъ призму въ приблизительно правильномъ положеніи предъ линзой коллиматора, опредѣляютъ приблизительно, невооруженнымъ глазомъ, направленіе выходящаго луча и ищутъ трубой изображеніе щели. Вращаютъ теперь призму (слѣдуя за нею, если понадобится, трубой), пока изображеніе щели въ трубѣ не двинется обратно, и закрѣпляютъ призму въ этомъ положеніи.

Отраженное изображеніе шкалы должно быть отчетливо видимымъ. Шкала освѣщается небольшимъ, узкимъ, не слишкомъ близко (20 *см*) поставленнымъ пламенемъ. Получивъ, вращеніемъ трубы со шкалой, ея изображеніе въ зрительной трубѣ, выдвигаютъ трубу со шкалой, пока отчетливое изображеніе шкалы не

перестанетъ смѣщаться относительно изображенія щели при смѣщеніи глаза предъ окуляромъ.

Опредѣленное дѣленіе шкалы, 50-ое по шкалѣ Бунзена-Кирхгофа, должно совпадать съ натріевой линіей. Вращаютъ трубу со шкалой, пока не получится это положеніе, и закрѣпляютъ ее.

II. Градуировка шкалы

Чтобы узнать, какимъ точкамъ шкалы соотвѣтствуютъ линіи, принадлежащія отдѣльнымъ химическимъ элементамъ, можно наблюдать отдѣльно спектры веществъ и отмѣчать положеніе линій на шкалѣ (вмѣстѣ съ данными относительно ихъ приблизительной яркости, ширины, цвѣта и рѣзкости). Удобнѣе пользоваться рисунками, составленными по шкалѣ Бунзена-Кирхгофа, или таблицами 18 и 19, соотвѣтствующими этой шкалѣ, градуируя по нимъ шкалу прибора слѣдующимъ образомъ.

Наблюдаютъ на шкалѣ нѣсколько извѣстныхъ линій на концахъ и въ срединѣ спектра (солнце: линіи a, D, F, G, H; или K α, Li α, Na, Sr δ, K β; чертежъ стр. 148), наносятъ наблюденныя дѣленія шкалы на координатную бумагу, какъ абсциссы, а соотвѣтствующія дѣленія шкалы Б.-К., какъ ординаты, и соединяютъ полученныя точки кривой; послѣдняя рѣдко будетъ отличаться значительно отъ прямой. По графику находятъ тогда, какъ ординату кривой, дѣленіе шкалы Б.-К., соотвѣтствующее любому наблюденному дѣленію шкалы. Если шкала прибора, какъ часто случается, близко подходитъ къ шкалѣ Б.-К., то устанавливаютъ Na на 50-ое дѣленіе, производятъ попрежнему рядъ сравнительныхъ наблюденій и строятъ кривую поправокъ, нанося на оси абсциссъ дѣленія шкалы прибора, а на оси ординатъ разности между ними и соотвѣтствующими дѣленіями шкалы Б.-К.

Пары образуютъ, вводя въ пламя бунзеновской горѣлки зернышко соли на платиновой проволокѣ. Зернышко сплавляется обыкновенно легче, если вести накаливаніе платиновой проволоки, начиная сзади. Ушко платиновой проволоки должно быть замкнутымъ. NaCl и KCl предъ употребленіемъ прокаливаются во избѣжаніе растрескиванія. Прокаленная сода удобнѣе, чѣмъ NaCl. — Наиболѣе дѣйствительная чистка проволоки производится многократнымъ погруженіемъ въ соляную кислоту и чистую воду и прокаливаніемъ на оконечности бунзеновскаго пламени.

III. Анализъ

Тѣла распознаются по совпаденію ихъ спектральныхъ линій съ линіями извѣстныхъ веществъ (сравни II). При этомъ обращаютъ вниманіе не только на положеніе, но и на приблизительную яркость, ширину и рѣзкость наблюдаемыхъ линій. Напримѣръ, Sr β и Li α сопадаютъ по положенію, но Sr β размыта, а Li α совершенно рѣзка. Можно изобразить полосы наглядно, графическимъ способомъ, откладывая яркость въ какой-либо точкѣ шкалы по ординатѣ надъ этой точкой и вычерчивая такимъ образомъ кривыя для изучаемыхъ спектровъ.

Что касается распознаванія щелочныхъ земель,—слѣдуетъ обращать вниманіе преимущественно на характерныя (слабыя) голубыя линіи стронція и кальція.

Зернышко соли вносится всегда въ наружный конусъ пламени и притомъ настолько низко, чтобы раскаленная твердая часть не могла дать непрерывнаго спектра, мѣшающаго наблюденіямъ. Совѣтуется наблюдать одинъ разъ съ узкой щелью, чтобы различить близкія другъ къ другу линіи, и затѣмъ съ болѣе широкой щелью для отысканія слабыхъ линій; равнымъ образомъ—одинъ разъ съ небольшимъ газовымъ пламенемъ для летучихъ веществъ (K, Li), другой разъ съ большимъ пламенемъ для трудно улетучивающихся (Sr, Ba, Ca). Спектры послѣднихъ часто выступаютъ отчетливо только спустя много времени. Ослабленіе спектра при долго длящемся опытѣ происходитъ обыкновенно вслѣдствіе превращенія летучихъ соединеній черезъ накаливаніе въ менѣе летучія окиси. Тогда можно на мгновеніе усилить яркость, смачивая зернышко на платиновой проволокѣ чистой соляной кислотой. Соединенія, вродѣ сульфатовъ щелочныхъ земель, почти не летучія сами по себѣ и не превращаемыя соляной кислотой, прокаливаются предъ смачиваніемъ соляной кислотой въ нижней востановительной части пламени.

Посторонній свѣтъ устраняется: черной ширмой за газовымъ пламенемъ, коробкой, закрывающей призму съ вырѣзами для трехъ трубъ, наконецъ, заслонкой изъ черной бумаги, надѣтой на зрительную трубу, избавляющей вмѣстѣ съ тѣмъ отъ необходимости закрывать другой глазъ. Даже шкалу не слѣдуетъ освѣщать сильнѣе, чѣмъ нужно для того, чтобы различать ее! Разсматривая очень слабыя линіи, выгодно на время совершенно затемнять шкалу.

Пламя бунзеновской горѣлки само по себѣ даетъ нѣкоторое число слабыхъ линій, особенно зеленыхъ и голубыхъ. Во избѣжаніе ошибокъ слѣдуетъ предварительно пронаблюдать ихъ и отмѣтить наиболѣе яркія. Вообще, не пользуются для наблюденія нижней частью пламени, гдѣ онѣ выступаютъ особенно сильно. Натріева линія видна въ большинствѣ препаратовъ; воздухъ также содержитъ обыкновенно количество натрія, достаточное для образованія реакціи въ свободномъ пламени.

Спектры поглощенія. Можетъ имѣть значеніе и анализъ бѣлаго свѣта, прошедшаго сквозь окрашенныя тѣла, особенно растворы. Рѣзкія линіи выступаютъ здѣсь рѣдко.

Сравненіе двухъ спектровъ. Съ помощью призмы полнаго отраженія, закрывающей половину щели, можно получить два спектра одинъ надъ другимъ. Одинъ источникъ свѣта ставится въ направленіи коллиматора такъ, что свѣтъ отъ него проходитъ черезъ неприкрытую половину щели, другой помѣщаютъ сбоку, чтобы свѣтъ отъ него отбрасывался призмой на щель.

Электрическіе спектры. Разрѣженные газы свѣтятся въ гейсслеровыхъ трубкахъ при разрядѣ индукторія. Искры между электродами изъ металловъ даютъ ихъ спектры, очень богатые линіями, но отличные отъ спектровъ тѣхъ же металловъ въ пламени бунзеновской горѣлки и содержащіе, кромѣ линій электродовъ, много линій, принадлежащихъ составнымъ частямъ воздуха.

65. Длина волны свѣтового луча

Пусть λ длина волны однороднаго свѣта, которому соотвѣтствуетъ z колебаній въ секунду, въ средѣ, въ которой скорость распространенія u; тогда $u = \lambda z$, или $\lambda = u/z$. Поэтому длина волны, соотвѣтствующая одному и тому же свѣтовому колебанію въ различныхъ средахъ, прямо пропорціональна скорости распространенія и, слѣдовательно, обратно пропорціональна показателю преломленія среды.

Длиной волны называютъ кратко длину волны въ міровомъ пространствѣ (эфирѣ) или, приблизительно, также въ воздухѣ (табл. 19). Такъ какъ скорость свѣта здѣсь равна 300000 *км/сек* $= 300 \cdot 10^9$ *мм/сек*, то длина волны въ *мм* равна $\lambda = 300 \cdot 10^9/z$ или $z = 300 \cdot 10^9/\lambda$, откуда число колебаній z можетъ быть вычислено по длинѣ волны.

Длины волнъ, воспринимаемыхъ глазомъ, заключены между 0·0004 *мм* и 0·00075 *мм*; числа колебаній ихъ, обнимая почти „октаву", лежатъ между $400 \cdot 10^{12}$ и $750 \cdot 10^{12}$ (для запоминанія удобны числа 40 и 75).

Диффракціонная рѣшетка (Фраунгоферъ)

Свѣтъ проходитъ черезъ отверстія узкой рѣшетки прямолинейно, но вмѣстѣ съ тѣмъ по обѣ стороны отъ средняго направленія образуются максимумы яркости „перваго, второго и т. д. порядковъ", которые при очень большомъ числѣ равноотстоящихъ отверстій рѣшетки представляются въ однородномъ свѣтѣ рѣзко ограниченными. Если свѣтъ падаетъ на такую рѣшетку перпендикулярно, то направленія максимумовъ образуютъ съ среднимъ направленіемъ углы δ_1, δ_2, $\delta_3, \ldots$, опредѣляемые соотношеніями

$$\sin \delta_1 = \frac{\lambda}{l}, \quad \sin \delta_2 = \frac{2\lambda}{l}, \quad \sin \delta_3 = \frac{3\lambda}{l} \text{ и т. д.,}$$

гдѣ λ длина волны, а l разстояніе между сосѣдними отверстіями.

Дѣйствительно, въ каждомъ изъ этихъ направленій оптическія длины пути отъ отдѣльныхъ отверстій рѣшетки отличаются другъ отъ друга на цѣлое число волнъ. Свѣтовыя колебанія, исходящія отъ различныхъ отверстій и попадающія на отдаленный экранъ или въ трубу, установленную на параллельные лучи, оказываются въ одной и той же фазѣ и суммируются. Во всякомъ другомъ направленіи идутъ диффракціонныя волны на неправильныхъ разстояніяхъ отъ отверстій и, оказываясь поэтому при соединеніи въ разнообразнѣйшихъ фазахъ, взаимно уничтожаются, если число отверстій достаточно велико.

Диффракціонная рѣшетка ставится на столикъ спектрометра (**60**) перпендикулярно къ коллиматору, заштрихованной стороной къ зрительной трубѣ, штрихи — параллельно щели. Труба и коллиматоръ устанавливаются предварительно на безконечность (**60**, 2, 3). При подходящемъ положеніи зрительной трубы наблюдаются, кромѣ средняго яркаго изображенія щели, первое, второе и т. д. отклоненныя изображенія съ каждой стороны. Если δ_1, δ_2, $\delta_3 \ldots$ угловыя разстоянія отклоненныхъ изображеній отъ средняго, то длина волны взятаго однороднаго свѣта равна

$$\lambda = l \sin \delta_1 = \tfrac{1}{2} l \sin \delta_2 = \tfrac{1}{3} l \sin \delta_3 \text{ и т. д.}$$

Точно перпендикулярное положеніе диффракціонной рѣшетки характеризуется тѣмъ, что разстояніе между соотвѣтствующими другъ другу боковыми изображеніями при этомъ положеніи наименьшее.

За единицу длины для свѣтовыхъ волнъ принимаютъ обыкновенно микронъ (μ), т. е. тысячную миллиметра.

Диффракціонный спектръ. Сложный свѣтъ разлагается рѣшеткой въ спектръ, въ которомъ свѣтъ большей длины волны (красный) оказывается, согласно съ предыдущими формулами, наиболѣе отклоненнымъ. Болѣе преломляемая часть спектра менѣе про-

тяжена, чѣмъ въ призматическомъ спектрѣ (стр. 148). Второй и слѣдующіе спектры налагаются другъ на друга.

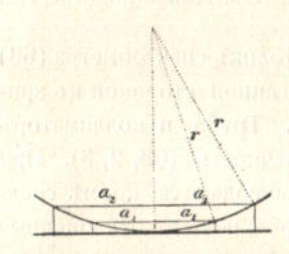
Длины волнъ можно опредѣлять простымъ, понятнымъ безъ объясненій способомъ по спектральной шкалѣ (**64** II), градуированной предварительно въ длинахъ волнъ по извѣстнымъ линіямъ (табл. 19).

Ньютоновы кольца

Если свѣтъ отражается отъ двухъ лежащихъ одна за другой поверхностей, то оба потока волнъ взаимно усиливаются или ослабляются, смотря по разности хода между ними. Съ увеличеніемъ разстоянія между поверхностями на $\frac{1}{2}\lambda$, а разности хода, слѣдовательно, на λ, каждая разность фазъ повторяется; отсюда вытекаетъ слѣдующее правило.

Пусть шаровая поверхность большого радіуса кривизны r (**66**) лежитъ на плоскопараллельной пластинкѣ и освѣщается однороднымъ свѣтомъ. Пусть радіусъ p-го кольца, если смотрѣть перпендикулярно, равенъ a_1, а радіусъ $(p+k)$-го a_2. Тогда длина волны взятаго свѣта равна

$$\lambda = (a_2{}^2 - a_1{}^2)\,/\,(kr).$$



Этой же формулой можно воспользоваться для опредѣленія радіуса r, пользуясь натріевымъ свѣтомъ ($\lambda = 0{\cdot}000589$ *мм*).

Доказательство. Кольцо радіуса a находится на разстояніи отъ центра шара, равномъ $\sqrt{r^2 - a^2}$ или, если a/r очень мало, по формулѣ 3, стр. 27, $r - \frac{1}{2}a^2/r$. Разность разстояній въ нашемъ случаѣ равна поэтому $\frac{1}{2}(a_2^2 - a_1^2)/r = \frac{1}{2}k\lambda$.

66. Измѣреніе радіуса кривизны

I. Съ помощью сферометра

Устанавливаютъ сферометръ (**21**, II) сначала на вывѣренной (IV) плоскости, затѣмъ на изслѣдуемой поверхности. Если h разность установокъ средняго острія въ обоихъ опытахъ, а l сторона равносторонняго треугольника, вершинами котораго служатъ три неподвижныхъ острія, то искомый радіусъ кривизны равенъ

$$r = \tfrac{1}{6}\,l^2\,/\,h + \tfrac{1}{2}\,h.$$

Дѣйствительно, если H высота треугольника со сторонами l, то изъ прямоугольнаго треугольника съ гипотенузой r и катетами $(r-h)$ и $\frac{2}{3}H$ слѣдуетъ: $r^2 = (r-h)^2 + (\frac{2}{3}H)^2$ или $2rh = \frac{4}{9}H^2 + h^2$; отсюда, такъ какъ $H^2 = \frac{3}{4}l^2$, и вытекаетъ предыдущая формула.

Проще всего измѣрить l, нажавши остріями сферометра на бумагу. Если стороны нѣсколько отличаются другъ отъ друга, можно взять среднее.

Въ продажѣ имѣются удобные для оптическихъ цѣлей сферометры съ указателемъ, на которыхъ, по установкѣ на поверхности, прямо отчитывается r или чаще $1/r$. Для линзъ одинаковой съ обѣихъ сторонъ кривизны (очковыя стекла) изъ обыкновеннаго стекла съ показателемъ 1·5 число r представляетъ также свѣтосилу (величина обратная фокусному разстоянію) въ діоптріяхъ; сравни **67**, начало.

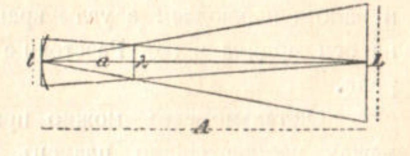
II Посредствомъ отраженія

Зеркальная шаровая поверхность даетъ или мнимое прямое изображеніе свѣтящейся точки (за зеркаломъ) или дѣйствительное обращенное (передъ зеркаломъ), послѣднее только въ томъ случаѣ, когда точка лежитъ дальше фокуснаго разстоянія вогнутаго зеркала. Фокусное разстояніе равно $f=\frac{1}{2}r$. Если разстояніе свѣтящейся точки отъ зеркала равно A, то разстояніе изображенія a дается соотношеніемъ $\frac{1}{A}+\frac{1}{a}=\frac{1}{f}$; разстояніе мнимаго изображенія и фокусное разстояніе выпуклаго зеркала считаются здѣсь отрицательными. Величина изображенія λ связана съ величиной предмета L соотношеніемъ $\lambda : L = a : A$; см. чертежъ ниже.

Методъ примѣнимъ къ зеркальнымъ поверхностямъ не слишкомъ малой кривизны, небольшого даже размѣра. На довольно большемъ разстояніи A отъ центра вертикально поставленной поверхности устанавливаются на разстояніи L другъ отъ друга два узкихъ источника свѣта, а между ними, посрединѣ, зрительная труба, наведенная на поверхность. Непосредственно предъ поверхностью, параллельно линіи, соединяющей источники свѣта, укрѣпляется небольшой, лучше всего нанесенный на стеклѣ масштабъ. Источники свѣта даютъ два отраженныхъ отъ поверхности изображенія; разстояніе l между ними наблюдается трубой на маленькомъ масштабѣ. Тогда

для выпуклой $$r=\frac{2Al}{L-2l}$$ для вогнутой поверхности $$r=\frac{2Al}{L+2l}.$$

Доказательство для вогнутой поверхности. L представляетъ здѣсь величину предмета, λ – изображенія. Дѣйствительное изображеніе лежитъ на разстояніи a отъ шаровой поверхности; имѣемъ: $\lambda : L = a : A$. Но смотрящимъ въ трубу λ проэктируется на масштабъ, занимая на немъ длину l. Очевидно, $l : \lambda = A : (A-a)$ и, слѣдо-



вательно, $l:L=a:(A-a)$; но $l:(L+l)=a:A$; слѣдовательно, $1/a=(L+l)/Al$ Вставляя это въ уравненіе $1/A+1/a=2/r$, получаемъ $2/r=(L+2l)/Al$ или $r=2Al/(L+2l)$.

Центръ кривизны и изображеніе въ выпуклой поверхности лежатъ по другую сторону ея. При доказательствѣ обращаютъ знаки предъ r и a.

Чѣмъ меньше кривизна, тѣмъ больше должно быть взято разстояніе A въ сравненіи съ L, во-первыхъ, чтобы имѣли мѣсто эти формулы, во-вторыхъ, въ виду того, что на небольшомъ разстояніи изображенія и масштабъ не видны одновременно отчетливо; впрочемъ, можно сдѣлать ихъ рѣзкими, уменьшая отверстіе объектива трубы.

Въ качествѣ источниковъ свѣта удобны небольшія бензиновыя пламена. Можно также воспользоваться краями окна, если труба установлена непосредственно предъ нимъ.

Въ линзахъ образуются изображенія и отъ задней поверхности; въ двояковогнутыхъ и двояковыпуклыхъ линзахъ главныя изображенія узнаются, смотря по тому, какими они должны быть: прямыми или обращенными. Побочныя изображенія устраняются зачерненіемъ задней поверхности.

Офтальмометръ Гельмгольтца

Двѣ стеклянныя пластинки одинаковой толщины могутъ вращаться предъ зрительной трубой, поворачиваясь одновременно въ противоположныя стороны на равные углы; уголъ вращенія можетъ быть измѣренъ. Въ нулевомъ положеніи, когда обѣ пластинки перпендикулярны къ оптической оси трубы, наблюдается одно изображеніе визируемой точки, при вращеніи оно раздваивается. Двѣ точки даютъ, слѣдовательно, двѣ пары изображеній. Для измѣренія разстоянія между точками приводятъ къ совпаденію ихъ среднія изображенія.

По необходимому для этого углу вращенія разстояніе опредѣляется на основаніи таблицы, которую строютъ или вычисленіемъ, по толщинѣ и показателю преломленія пластинокъ, или эмпирически, наводя приборъ на два какихъ-нибудь дѣленія миллиметровой шкалы и нанося наблюдаемые углы вращенія на оси абсциссъ, а разстоянія на оси ординатъ (**8**). Разстояніе объекта отъ прибора не играетъ роли.

Офтальмометръ можно примѣнить къ опредѣленію разстоянія между изображеніями пламенъ, если только оно достаточно мало.

Измѣряется здѣсь истинное разстояніе λ. Радіусъ кривизны равенъ тогда $r = \frac{2A\lambda}{L-\lambda}$ или $\frac{2A\lambda}{L+\lambda}$ (сравни доказательство на стр. 161).

III. По фокусному разстоянію

Можно опредѣлить, по **67**, 1, 3—6 съ небольшими измѣненіями, фокусное разстояніе вогнутаго, по **67**, 8—выпуклаго зеркала. Радіусъ кривизны равенъ удвоенному фокусному разстоянію.

IV. Испытаніе плоскопараллельныхъ стеколъ

Если располагаютъ хорошимъ плоскопараллельнымъ стекломъ,—кладутъ на него испытуемое: интерференціонныя полосы, выступающія особенно хорошо при освѣщеніи натріевымъ пламенемъ, должны идти прямолинейно и параллельно.—Чувствительнымъ методомъ испытанія служитъ изслѣдованіе зеркальнаго изображенія солнца, отброшеннаго стекломъ на о т д а л е н н у ю стѣну: оно должно быть круглымъ и имѣть видимый діаметръ солнца. Если наблюдаются два круглыхъ изображенія, то обѣ поверхности, конечно, плоски, но не параллельны.

67. Фокусное разстояніе

Фокусомъ F линзы называется точка, въ которой пересѣкаются по выходѣ изъ линзы лучи, падающіе параллельно ея оси. Разстояніе фокуса отъ линзы, строго говоря, отъ соотвѣтствующей главной плоскости линзы (см. стр. 166), называется фокуснымъ разстояніемъ. У каждой линзы два фокуса, но только одно фокусное разстояніе. Въ разсѣивающихъ линзахъ фокусное разстояніе отрицательно. Н о м е р о м ъ очковаго стекла называютъ его фокусное разстояніе, выраженное обыкновенно въ парижскихъ дюймахъ.

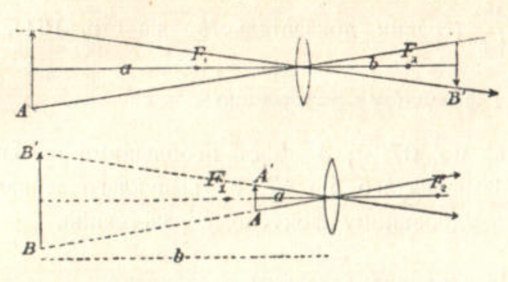
С в ѣ т о с и л а линзы опредѣляется, какъ величина, обратная фокусному разстоянію. О линзѣ или системѣ линзъ, обладающей фокуснымъ разстояніемъ въ f метровъ, говорятъ, что свѣтосила ея равна $1/f$ д і о п т р і й.

Фокусное разстояніе f и свѣтосила $1/f$ опредѣляются обоими радіусами кривизны r и r' и показателемъ преломленія n линзы:

$$f = \frac{1}{n-1}\,\frac{rr'}{r+r'}; \qquad \frac{1}{f} = (n-1)\left(\frac{1}{r} + \frac{1}{r'}\right).$$

Для обыкновеннаго стекла можно положить $n = 1{\cdot}5$, откуда приблизительно $\frac{1}{f} = \frac{1}{2}\left(\frac{1}{r} + \frac{1}{r'}\right)$ и, если $r = r'$, то $f = r$. Радіусъ кривизны вогнутой поверхности входитъ съ отрицательнымъ знакомъ.

Отъ свѣтящагося предмета AA' образуется линзой изображеніе BB', причемъ собирательная линза (чертежъ) даетъ дѣйствительное обращенное или мнимое увеличенное и прямое изображеніе, смотря по положенію предмета внѣ или въ предѣлахъ фокуснаго разстоянія; разсѣивающая линза даетъ только мнимыя уменьшенныя изображенія.



Разстоянія предмета a и изображенія b связаны между собою и фокуснымъ разстояніемъ f соотношеніемъ

$$\frac{1}{a}+\frac{1}{b}=\frac{1}{f}; \quad b=\frac{af}{a-f}.$$

Разстоянія мнимыхъ изображеній, а равно и фокусныя разстоянія разсѣивающихъ линзъ вводятся сюда съ отрицательными знаками.

Величина изображенія BB' относится къ величинѣ предмета AA' всегда, какъ разстояніе изображенія къ разстоянію предмета:

$$BB' : AA' = b : a.$$

Завися отъ показателя преломленія, фокусное разстояніе различно для разныхъ цвѣтовъ и, строго говоря, должно поэтому относиться къ одному опредѣленному цвѣту (натріевое пламя, красное стекло). Далѣе, у линзъ діаметра не очень малаго въ сравненіи съ фокуснымъ разстояніемъ, края обладаютъ меньшимъ фокуснымъ разстояніемъ, чѣмъ среднія части. Первое обстоятельство обусловливаетъ цвѣтные ореолы (хроматическая аберрація), второе — неотчетливость изображеній (сферическая аберрація).

Центрировка. Важно, чтобы ось линзы (линія, соединяющая центры кривизны) была расположена въ направленіи отъ предмета къ изображенію, такъ какъ иначе разстояніе изображенія выйдетъ слишкомъ малымъ. Направленіе оси можно опредѣлить съ помощью небольшого пламени на подходящемъ разстояніи отъ линзы: если оба зеркальныя изображенія, видимыя въ передней и задней поверхностяхъ линзы, лежатъ всегда въ плоскости, проходящей черезъ глазъ, пламя и центръ линзы, то пламя находится на оси.

О вычисленіи фокусныхъ разстояній тонкихъ линзъ по кривизнѣ поверхностей ср. пред. стр.

Опредѣленіе фокуснаго разстоянія собирательной линзы

1. Съ помощью солнца. Получаютъ линзой изображеніе солнца на кусочкѣ стекла и устанавливаютъ послѣдній такъ, чтобы

изображенiе было рѣзко очерчено. Разстоянiе стекла отъ линзы равно фокусному разстоянiю.

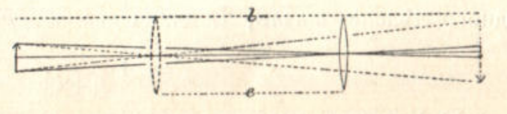
2. Съ помощью зрительной трубы. Труба устанавливается на отчетливое видѣнiе очень удаленнаго предмета. Если затѣмъ смотрѣть въ трубу черезъ линзу, поставленную предъ ея объективомъ, на какой-нибудь плоскiй предметъ (напримѣръ, бумагу съ печатнымъ текстомъ), то послѣднiй видѣнъ отчетливо, если разстоянiе его отъ линзы равно ея фокусному разстоянiю.

Дальнозоркiй можетъ произвести приблизительное измѣренiе и безъ зрительной трубы. Стараются аккомодировать глаза на большое разстоянiе, смотря однимъ глазомъ мимо линзы на отдаленный предметъ, а другимъ разсматривая черезъ линзу какой-нибудь предметъ (острiе карандаша). Предметъ видѣнъ отчетливо, если разстоянiе его отъ линзы равно фокусному разстоянiю.

3. По разстоянiямъ предмета и изображенiя. На разстоянiи a отъ линзы ставятъ источникъ свѣта или, лучше, жестяную ширму съ отверстiемъ и проволочнымъ крестомъ въ немъ, за которымъ помѣщаютъ пламя, а по другую сторону линзы—бѣлый экранъ на такомъ разстоянiи b, чтобы получилось отчетливое изображенiе источника свѣта или креста. О центрировкѣ смотри выше. Если f фокусное разстоянiе, то

$$\frac{1}{f}=\frac{1}{a}+\frac{1}{b} \quad \text{или} \quad f=\frac{ab}{a+b}.$$

4. По способу смѣщенiя (Бессель). Если предметъ находится на постоянномъ разстоянiи l отъ экрана, превосходящемъ учетверенное фокусное разстоянiе, то существуютъ два промежуточныхъ положенiя линзы, въ которыхъ она даетъ отчетливое изображенiе. Пусть разстоянiе между обоими положенiями, которое можно измѣрить точнѣе, чѣмъ разстоянiя отъ линзы, равно e. Тогда фокусное разстоянiе линзы равно



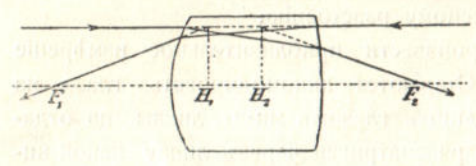
$$f=\tfrac{1}{4}(l-e^2/l).$$

Предметомъ можетъ служить нитяный крестъ, а вмѣсто экрана—лупа съ нитянымъ крестомъ, причемъ о совпаденiи изображенiя перваго креста съ крестомъ лупы судятъ по отсутствiю параллакса.

Доказательство. Разстоянiя предмета и изображенiя равны, очевидно, въ этихъ опытахъ $\frac{1}{2}(l+e)$ и $\frac{1}{2}(l-e)$. Отсюда вытекаетъ: $1/f=2/(l+e)+2/(l-e)=4l/(l^2-e^2)$, что и требовалось доказать.

5. По равенству предмета и изображенія. Если изображеніе и предметъ одинаковой величины, то разстояніе между ними равно учетверенному фокусному разстоянію.

Главныя точки. Если нельзя пренебречь толщиной линзы предъ ея фокуснымъ разстояніемъ и разстояніями изображеній, какъ принималось до сихъ поръ, то слѣдуетъ считать всѣ разстоянія отъ двухъ точекъ H_1 и H_2, называемыхъ главными точками и лежащихъ всегда симметрично относительно обоихъ фокусовъ F_1 и F_2. На чертежѣ, относящемся къ обыкновенному стеклу ($n = 1{\cdot}5$), H_1 соотвѣтствуетъ фокусу F_1, а H_2 фокусу F_2. Равновеликія разстоянія $H_1 F_1$ и $H_2 F_2$ представляютъ фокусное разстояніе f. (Въ стеклянныхъ линзахъ, для которыхъ въ точности $n = 1{\cdot}5$, не слишкомъ толстыхъ, $H_1 H_2$ равно трети толщины; поэтому при одинаковой кривизнѣ съ обѣихъ сторонъ главныя точки дѣлятъ толщину линзы на три равныя части). Линза дѣйствуетъ такъ, какъ если бы не было слоя между „главными плоскостями", проходящими черезъ H_1 и H_2. То же относится къ системамъ линзъ; у нихъ также двѣ главныя точки и только одно фокусное разстояніе.



Слѣдующій методъ даетъ истинныя фокусныя разстоянія линзъ и линзовыхъ системъ, не требуя знанія положенія главныхъ точекъ.

6. По величинѣ сильно увеличенныхъ или уменьшенныхъ изображеній. a) Устанавливаютъ нѣсколько дальше фокуса ярко освѣщенный масштабъ, лучше всего стеклянный, въ проходящемъ свѣтѣ, а напротивъ, съ другой стороны линзы, бѣлый экранъ— на такомъ разстояніи A отъ линзы, чтобы на немъ получилось отчетливое сильно увеличенное изображеніе дѣленій. Если l длина одного дѣленія шкалы, L длина его изображенія, то

$$f = A\frac{l}{L+l}.$$

b) Устанавливаютъ, наоборотъ, на довольно большомъ разстояніи отъ линзы рѣзко очерченный предметъ и измѣряютъ его сильно уменьшенное изображеніе по другую сторону линзы. Для этой цѣли служитъ микрометръ на стеклѣ съ лупой предъ нимъ, которую устанавливаютъ такъ, чтобы дѣленія микрометра были отчетливо видны въ лупѣ одновременно съ изображеніемъ предмета. Въ написанной выше формулѣ l означаетъ тогда величину изображенія, L—предмета, A разстояніе послѣдняго отъ линзы.

Доказательство къ (a). Разстоянія A и a изображенія и предмета отъ соотвѣтствующихъ главныхъ плоскостей линзы связаны формулой

$1/A + 1/a = 1/f$. Величины обоихъ относятся, какъ $L : l = A : a$. Вставляя въ первое уравненіе $1/a = L/(Al)$, получаютъ предыдущее выраженіе. Такъ какъ A велико по сравненію съ толщиной линзы, то можно взять вмѣсто разстоянія отъ главной плоскости измѣренное разстояніе отъ линзы.

Разсѣивающія линзы

7. Эти линзы не даютъ дѣйствительныхъ изображеній. Ихъ соединяютъ съ болѣе сильной собирательной линзой извѣстнаго фокуснаго разстоянія F' и измѣряютъ общее фокусное разстояніе F системы обѣихъ линзъ по одному изъ приведенныхъ выше методовъ. Отрицательное фокусное разстояніе f одной только вогнутой линзы находится тогда по формулѣ

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{F} - \frac{1}{F'} \text{ или } f = \frac{FF'}{F' - F}.$$

8. Измѣряютъ величину круга разсѣянія, даваемаго линзой отъ солнца на экранѣ, находящемся на опредѣленномъ разстояніи. Если d діаметръ отверстія линзы, D діаметръ круга разсѣянія, A разстояніе экрана отъ линзы, то

$$f = \frac{A\,d}{d - D + 0{\cdot}0094\,A};$$

0·0094 есть удвоенный тангенсъ видимаго радіуса солнца. При болѣе сильныхъ, не слишкомъ малыхъ линзахъ можно пренебречь $0{\cdot}0094\,A$ и получить простое правило: фокусное разстояніе линзы равно тому разстоянію экрана, при которомъ діаметръ круга разсѣянія вдвое больше діаметра линзы.

9. **Астигматическія линзы** обладаютъ двумя главными фокусными разстояніями, соотвѣтствующими обоимъ взаимно перпендикулярнымъ главнымъ сѣченіямъ. „Изображеніемъ" свѣтящейся точки считается прямая, въ которую стягивается свѣтовой пучекъ, и направленіе которой опредѣляетъ вмѣстѣ съ тѣмъ направленіе главнаго сѣченія. Обыкновенная линза, если держать ее очень наклонно, дѣйствуетъ, какъ астигматическая, фокусное разстояніе которой меньше, чѣмъ при прямомъ положеніи.

68. Увеличеніе и проч. оптическаго прибора

I. Лупа

Увеличеніемъ лупы называется отношеніе кажущейся величины предмета при разсматриваніи черезъ лупу къ величинѣ, въ которой онъ представляется невооруженному глазу на разстояніи наилучшаго зрѣнія. Это увеличеніе не одинаково, слѣдовательно, для различныхъ глазъ.

Увеличеніе m вычисляется по фокусному разстоянію. Именно, если обозначимъ черезъ f фокусное разстояніе, черезъ A разстояніе наилучшаго зрѣнія для невооруженнаго глаза, то

$$m = 1 + A/f.$$

Для средняго глаза A полагается равнымъ 25 *см*.

Доказательство. Если маленькій предметъ длины l положенъ подъ лупой на такомъ разстояніи a, что его (мнимое) изображеніе кажется на разстояніи A, то $1/a = 1/A + 1/f$. Если длина изображенія L, то увеличеніе равно $L/l = A/a = 1 + A/f$.

II. Зрительная труба

Увеличеніемъ называется отношеніе угла зрѣнія, подъ которымъ представляется отдаленный предметъ въ зрительной трубѣ, къ углу, подъ которымъ онъ виденъ невооруженнымъ глазомъ.

1. Слѣдующій способъ примѣнимъ во всѣхъ случаяхъ. Зрительная труба устанавливается на большомъ сравнительно съ ея длиной разстояніи предъ какимъ-нибудь масштабомъ (бумажная шкала, черепичная кровля, узоръ на обояхъ), на которомъ имѣются двѣ точки, достаточно замѣтныя для невооруженнаго глаза. Смотрятъ на масштабъ однимъ глазомъ черезъ трубу, другимъ мимо трубы такъ, чтобы изображенія, видимыя обоими глазами, налагались другъ на друга. Если, такимъ образомъ, наблюдаемое прямо глазомъ разстояніе между мѣтками покрываетъ n дѣленій масштаба, наблюдаемаго черезъ трубу, тогда какъ на самомъ дѣлѣ между ними заключается N дѣленій, то увеличеніе $m = N/n$.

Наблюденіе облегчается, если установить трубу, выдвигая окуляръ, такъ, чтобы оба изображенія возможно менѣе смѣщались относительно другъ друга при поворачиваніи глазныхъ осей. Близорукіе должны, понятно, вооружаться очками.

2. Располагая сравнительно небольшимъ разстояніемъ, можно поступать слѣдующимъ образомъ: устанавливаютъ трубу на очень удаленный предметъ, укрѣпляютъ затѣмъ предъ ея объективомъ совсѣмъ слабую тонкую, выпуклую линзу (очковое стекло съ фокуснымъ разстояніемъ около 2 *м*) и устанавливаютъ подготовленную такимъ образомъ трубу предъ масштабомъ на такомъ разстояніи, чтобы его дѣленія были отчетливо видны. Наблюдаютъ, какъ указано въ Nr. 1, обоими глазами. Если n дѣленій, видимыхъ въ трубѣ, совпадаютъ съ N дѣленіями, видимыми невооруженнымъ глазомъ, и

разстояніе масштаба отъ объектива равно a, а отъ глаза — A, то увеличеніе равно $(N/n).(a/A)$.

3. Къ зрительнымъ трубамъ съ выпуклымъ окуляромъ можно почти всегда примѣнять слѣдующій способъ. Установивъ на безконечность, замѣняютъ объективъ діафрагмой съ прямоугольнымъ вырѣзомъ. Оставшіяся линзы даютъ дѣйствительное изображеніе діафрагмы, величина котораго измѣряется предъ окуляромъ на стеклянномъ масштабикѣ съ помощью лупы. Раздѣливъ истинную величину на величину изображенія, получаютъ увеличеніе.

Вмѣсто діафрагмы можно воспользоваться отверстіемъ самого объектива, если только краевые лучи не задерживаются внутренними діафрагмами, что обыкновенно случается. Обнаружить это можно діафрагмой съ угловатымъ вырѣзомъ.

Доказательство для кеплеровой трубы. При установкѣ на безконечность разстояніе объектива отъ окуляра равно суммѣ фокусныхъ разстояній $F+f$. Поэтому изображеніе діафрагмы находится на разстояніи $b=(F+f)f/F$ предъ окуляромъ (стр. 163). Слѣдовательно, $L/l=(F+f)/b=F/f$. Но F/f даетъ, какъ извѣстно, увеличеніе.

Величина поля зрѣнія

Если истинное разстояніе между двумя точками, видимыми на концахъ одного изъ діаметровъ поля зрѣнія, равно l, а разстояніе ихъ отъ трубы есть a, то величина поля зрѣнія, выраженная въ дуговыхъ градусахъ, $=57{\cdot}3^0 . l/a$.

Для измѣренія можетъ служить отдаленный масштабъ. Если не располагаютъ большимъ разстояніемъ, то укрѣпляютъ, какъ указано въ Nr. 2, предъ зрительной трубой, установленной на безконечность, слабую собирательную линзу и отодвигаютъ масштабъ на разстояніе отчетливаго при этихъ условіяхъ зрѣнія. Тогда a представляетъ разстояніе масштаба отъ линзы.

III. Микроскопъ

Здѣсь увеличеніемъ называется отношеніе угла, подъ которымъ виденъ небольшой предметъ въ микроскопѣ, къ углу, подъ которымъ онъ представляется глазу на разстояніи 25 *см.*

1. Способъ опредѣленія увеличенія аналогиченъ описанному въ II, 1. На столикъ микроскопа кладется объектъ извѣстной длины (объектмикрометръ). Возлѣ микроскопа, на 25 *см* ниже окуляра, кладутъ миллиметровый масштабъ. Смотря однимъ глазомъ въ ми-

кроскопъ на объектъ, а другимъ на масштабъ, измѣряютъ, какъ въ II, 1, проэкцію видимаго въ микроскопѣ изображенія на масштабъ. Если изображеніе покрываетъ N дѣленій, въ то время какъ на самомъ дѣлѣ въ длинѣ предмета заключается n дѣленій, то увеличеніе равно N/n.

Удобнѣе укрѣпить непосредственно предъ окуляромъ подъ угломъ въ 45° небольшое зеркало, слой котораго въ средней части удаленъ, а масштабъ установить на разстояніи 25 *см* вертикально, сбоку. Такимъ образомъ, однимъ и тѣмъ же глазомъ видятъ, черезъ зеркальное стекло, изображеніе объекта въ микроскопѣ и изображеніе масштаба, отраженное зеркаломъ.

Вмѣсто того, чтобы сравнивать изображеніе съ масштабомъ, можно также зарисовать его (спроэктировать) на плоскости, помѣщенной на разстояніи 25 *см* отъ глаза и тогда уже измѣрить.

2. Относительно измѣренія длинъ микроскопомъ см. **21**.

69. Уголъ полной поляризаціи тѣла

Свѣтъ, въ которомъ колебанія не происходятъ, какъ въ обыкновенномъ, по всѣмъ направленіямъ съ одинаковой амплитудой, называется поляризованнымъ; направленіемъ поляризаціи называется, по Френелю, направленіе наименьшей слагающей колебанія. Если слагающая вовсе отсутствуетъ, т. е. свѣтовыя колебанія происходятъ только въ одной плоскости, то свѣтъ называется вполнѣ или прямолинейно поляризованнымъ. Простѣйшій случай неполной поляризаціи представляетъ эллиптически поляризованный свѣтъ, когда частицы эфира описываютъ эллипсы. Свѣтъ называется поляризованнымъ по кругу, если пути частицъ эфира — круги.

При отраженіи обыкновенный свѣтъ превращается вообще въ отчасти поляризованный, плоскость поляризаціи котораго совпадаетъ съ плоскостью паденія, такъ какъ отражается преимущественно слагающая, параллельная отражающей поверхности. Свѣтъ, проникающій въ тѣло, поляризованъ, слѣдовательно, перпендикулярно къ плоскости паденія, но поляризація никогда не бываетъ полной. Отраженный свѣтъ поляризованъ въ плоскости паденія и притомъ вполнѣ для того угла паденія или преломленія, при которомъ лучъ входящій перпендикуляренъ къ отраженному. Отсюда слѣдуетъ, если ω этотъ „уголъ поляризаціи“ и n показатель преломленія зеркала,

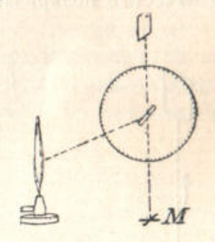
$$n = \operatorname{tg} \omega.$$

Если n извѣстно, ω можетъ быть отсюда вычислено; для стекла съ показателемъ 1·5 уголъ $\omega = 56^0$. Обратно, измѣривъ ω, получаютъ n; большой точности однако при этомъ нельзя ожидать.

Чтобы наблюдать явленіе, освѣщаютъ зеркало источникомъ свѣта, имѣющимъ достаточные размѣры въ направленіи плоскости паденія, напримѣръ,

прозрачной бумагой предъ пламенемъ или, если плоскость паденія вертикальна, длиннымъ газовымъ пламенемъ изъ горѣлки съ узкимъ отверстіемъ и наблюдаютъ отраженный свѣтъ черезъ николь, плоскость поляризаціи котораго (бо̀льшая діагональ) перпендикулярна къ плоскости паденія свѣта. При правильной установкѣ, въ полѣ зрѣнія видна размытая темная полоса; направленіе визированія, соотвѣтствующее ея срединѣ, образуетъ съ нормалью къ зеркалу уголъ полной поляризаціи.

Уголъ полной поляризаціи ω для твердаго тѣла можно измѣрить, укрѣпивъ послѣднее на оси вращенія гоніометра (**60, 61**) такъ, чтобы ось лежала въ отражающей плоскости, которую наблюдаютъ зрительной трубой или просто глазомъ, зрительная ось котораго фиксирована посредствомъ мѣтки *M* за (прозрачнымъ) тѣломъ, черезъ неподвижно укрѣпленный николь, бо̀льшая діагональ котораго параллельна оси вращенія гоніометра; вращаютъ плоскость до тѣхъ поръ, пока темное пятно не окажется на оси трубы или глаза. Сдѣлавъ отчетъ, ставятъ источникъ свѣта симметрично по другую сторону, поворачиваютъ соотвѣтственно плоскость, отыскиваютъ снова темное пятно и, вращая плоскость, приводятъ его опять на направленіе визированія. Уголъ поворота между обоими положеніями равенъ 2 ω. На рисункѣ изображена установка съ вертикальнымъ гоніометромъ. Во второй части опыта ставятъ пламя справа.



Для жидкихъ поверхностей этотъ способъ не пригоденъ. Ихъ слѣдуетъ наблюдать посредствомъ приспособленія для визированія, вращающагося съ николемъ въ вертикальной плоскости. ω равняется углу между вертикалью и направленіемъ, въ которомъ наблюдается темное мѣсто. Для бо̀льшей точности измѣренія можно ставить жидкость и источникъ свѣта одинъ разъ слѣва, другой разъ справа, опредѣляя такимъ образомъ 2 ω.

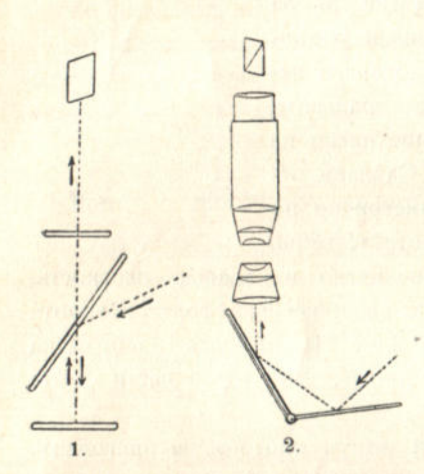
70. Поляризаціонный приборъ. Изслѣдованіе двоякопреломляющихъ тѣлъ. Кристаллы. Уголъ между оптическими осями

Поляризаціонный приборъ

Такъ называется соединеніе двухъ вращающихся поляризующихъ приспособленій. Приспособленіе, обращенное къ глазу, называется анализаторомъ, другое поляризаторомъ, въ спеціальномъ смыслѣ слова. Поляризаторами служатъ: николевы призмы (плоскость поляризаціи у нихъ совпа-

даетъ съ бо́льшей діагональю); стеклянныя пластинки безъ зеркальной наводки, обыкновенно чернаго стекла, отъ которыхъ заставляютъ отражаться свѣтъ подъ угломъ полной поляризаціи (около 56°); стопки изъ стеклянныхъ пластинокъ, черезъ которыя свѣтъ проходитъ подъ указаннымъ угломъ наклона; турмалиновыя пластинки, поглощающія избирательно одну изъ слагающихъ колебанія. Оба послѣднихъ средства поляризуютъ невполнѣ. Двоякопреломляющія призмы (изъ исландскаго шпата, кварца) разлагаютъ свѣтъ на два луча, въ которыхъ колебанія происходятъ во взаимно перпендикулярныхъ плоскостяхъ; происходящее одновременно цвѣторазсѣяніе можно устранить посредствомъ второй призмы, склеенной съ первой.

Въ обыкновенномъ поляризаціонномъ приборѣ Нёрренберга (черт. 1) въ качествѣ поляризатора пользуются прозрачной стеклянной пластинкой, наклоненной подъ угломъ въ 56° къ горизонту. Падающій наклонно дневной свѣтъ поляризуется и отражается внизъ на горизонтальное зеркало, отбрасывающее его вверхъ; пройдя, съ нѣкоторымъ, конечно, ослабленіемъ, черезъ наклонную стеклянную пластинку, свѣтъ попадаетъ въ анализаторъ, николеву призму на нашемъ чертежѣ. На горизонтальную стеклянную пластинку кладутся кристаллы и т. п.



Для нѣкоторыхъ цѣлей необходимъ свѣтъ, идущій въ кристаллѣ по различнымъ направленіямъ („большое поле зрѣнія"). Тогда между кристалломъ и поляризаторомъ вставляются выпуклыя линзы (поляризаціонный микроскопъ Нёрренберга, черт. 2). Наружное посеребренное зеркало служитъ только для освѣщенія и наклоняется соотвѣтственно положенію источника свѣта. Другое зеркало, стопа непосеребренныхъ стеклянныхъ пластинокъ, должно имѣть опредѣленный наклонъ. Вмѣсто него можетъ также имѣться внизу николь. — Для изслѣдованія небольшихъ тѣлъ въ поляризованномъ свѣтѣ подъ обыкновеннымъ микроскопомъ вставляютъ одну николеву призму между освѣтительнымъ зеркаломъ и тѣломъ, а другую кладутъ на окуляръ микроскопа.

Обыкновенно пользуются поляризаціоннымъ приборомъ со „скрещенными поляризаторомъ и анализаторомъ", причемъ поле зрѣнія кажется темнымъ. Взаимно перпендикулярныя въ этомъ случаѣ плоскости поляризаціи поляризатора и анализатора называются „главными плоскостями" прибора.

I. Изслѣдованіе двоякопреломляющихъ тѣлъ

Тѣло обладаетъ простымъ лучепреломленіемъ, если оно аморфно или принадлежитъ къ кристалламъ правильной системы; двойнымъ, если оно

принадлежитъ къ неправильной системѣ кристалловъ или пріобрѣло неодинаковыя свойства въ различныхъ направленіяхъ по другимъ причинамъ: давленію, натяженію, быстрому охлажденію. Свѣтъ въ нихъ разлагается на два потока волнъ, поляризованныхъ перпендикулярно другъ къ другу. Благодаря неодинаковой скорости распространенія колебаній того и другого рода происходитъ какъ двойное преломленіе (ср. стр. 143), такъ и „интерференція" въ поляризаціонномъ приборѣ, какъ только колебанія по выходѣ изъ кристаллической пластинки снова соединяются въ одну волну. Въ самомъ дѣлѣ, эта волна вообще находится въ иномъ состояніи поляризаціи, чѣмъ предъ входомъ въ кристаллъ, при внесеніи котораго въ приборъ поле зрѣнія, слѣдовательно, мѣняется.

Въ каждомъ тѣлѣ—оставляя въ сторонѣ вращающія (**71**)—существуетъ по крайней мѣрѣ одно направленіе, въ которомъ свѣтъ распространяется не разлагаясь: оно называется оптической осью. Въ аморфномъ тѣлѣ или въ кристаллѣ правильной системы каждое направленіе есть, въ этомъ смыслѣ, оптическая ось. Другія тѣла обладаютъ или одной или двумя оптическими осями.

Обладаетъ ли прозрачное тѣло простымъ или двойнымъ преломленіемъ, опредѣляютъ, скрестивъ поляризаторъ и анализаторъ. Просто преломляющее тѣло оставляетъ поле темнымъ, кромѣ немногихъ, оптически вращающихъ (**71**) тѣлъ, не принадлежащихъ къ двоякопреломляющимъ, въ собственномъ смыслѣ. Двоякопреломляющее тѣло просвѣтляетъ поле зрѣнія, вообще окрашивая его.

Опредѣленіе направленія свѣтовыхъ колебаній въ пластинкѣ изъ двоякопреломляющаго вещества. Вставляютъ пластинку между скрещенными поляризаторомъ и анализаторомъ. Если средина всегда остается темной, то, значитъ, пластинка вырѣзана перпендикулярно къ оси. Въ противномъ случаѣ всегда существуютъ два отличающіяся на 90° положенія пластинки, при которыхъ поле зрѣнія или средина поля остаются темными. Въ этихъ положеніяхъ направленія колебаній въ обоихъ идущихъ въ пластинкѣ потокахъ волнъ совпадаютъ съ главными плоскостями прибора.

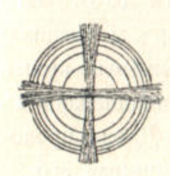
Дополнительные цвѣта. Во всякомъ другомъ положеніи пластинка кажется, въ приборѣ черт. 1, болѣе или менѣе свѣтлой, причемъ въ достаточно тонкихъ пластинкахъ (листочки гипса) появляется окрашиваніе, зависящее отъ толщины и происходящее отъ того, что различные цвѣта, содержащіеся въ бѣломъ свѣтѣ, выступаютъ неодинаково сильно вслѣдствіе различія длинъ волнъ и скоростей распространенія. Окраска выступаетъ наиболѣе интенсивно при поворотѣ пластинки на 45° отъ установки на темноту. Если установить поляризаторъ и анализаторъ параллельно, повернувъ одинъ изъ нихъ на 90°, то все явленіе обращается, причемъ окраска въ каждомъ мѣстѣ переходитъ въ точно дополнительную.

II. Одноосные кристаллы

Къ нимъ принадлежатъ кристаллы гексагональной и квадратной системъ. Оптическая ось совпадаетъ съ главной кристаллографической осью. Плоскость, параллельная оптической оси, называется **главнымъ сѣченіемъ**. Примѣрами могутъ служить исландскій шпатъ, азотнокислый натрій, турмалинъ, желѣзосинеродистый калій $\left(K_4 Fe(CN)_6\right)$, ледъ, кварцъ. О послѣднемъ см. однако **71**.

Одно изъ двухъ колебаній, на которыя распадается свѣтъ, идущій въ кристаллѣ, слѣдуетъ обычному закону преломленія (обыкновенный лучъ); оно всегда перпендикулярно къ оптической оси и, слѣдовательно, къ главному сѣченію, проходящему черезъ обыкновенный лучъ („поляризовано въ плоскости главнаго сѣченія"). Одна изъ установленныхъ выше плоскостей колебанія содержитъ, слѣдовательно, оптическую ось кристалла. Другое колебаніе происходитъ въ главномъ сѣченіи.

Кольцевыя фигуры. Вырѣзанная перпендикулярно къ оси пластинка вставляется между скрещенными поляризаторомъ и анализаторомъ. Средина остается всегда темной. Въ приборѣ съ бо̀льшимъ полемъ зрѣнія — турмалиновые щипцы, поляризаціонный микроскопъ — темнота распространяется отъ средины вдоль главныхъ сѣченій прибора (темный крестъ); четыре квадранта пересѣкаются кольцами, поочередно свѣтлыми и темными — въ однородномъ свѣтѣ (красное стекло держать предъ глазомъ!) и окрашенными въ бѣломъ. Въ оптически вращающихъ тѣлахъ темный крестъ вообще не появляется. Чѣмъ тѣснѣе лежатъ кольца, тѣмъ больше, при одинаковой толщинѣ пластинокъ, „двойное преломленіе", т. е. разница въ скоростяхъ распространенія обыкновеннаго и необыкновеннаго лучей.



При вращеніи анализатора на 90° окраска въ каждой точкѣ переходитъ въ дополнительную: крестъ становится свѣтлымъ, красныя кольца — зелеными, голубыя — желтыми и т. д.

Распознаваніе положительныхъ и отрицательныхъ кристалловъ

Кристаллъ, въ которомъ необыкновенный лучъ преломляется сильнѣе обыкнованнаго, называется положительнымъ, въ противномъ случаѣ — отрицательнымъ.

Знакъ кристалла опредѣляется съ помощью слюдяной **пластинки въ четверть волны**, т. е. пластинки такой толщины, что оба колебанія (стр. 173) пріобрѣтаютъ разность хода въ $\frac{1}{4}$ длины волны. Слюдяную пластинку кладутъ или держатъ между кристаллической пластинкой и анализаторомъ и притомъ такъ, чтобы плоскость оптическихъ осей слюдяной пластинки, отмѣчаемая обыкновенно стрѣлой, образовывала углы въ 45° съ главными плоскостями прибора. Тогда изслѣдуемая пластинка не даетъ больше темнаго креста съ одина-

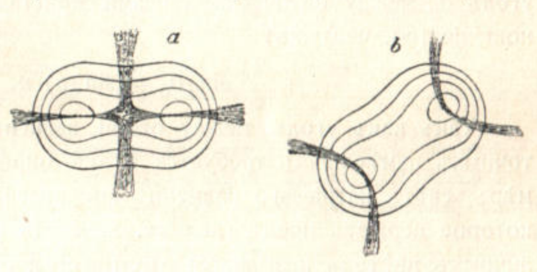
ковыми кольцевыми квадрантами; отрѣзки колецъ въ сосѣднихъ квадрантахъ смѣщены относительно другъ друга, а вблизи свѣтлаго теперь центра появляются два темныхъ пятна. Если эти пятна лежатъ въ плоскости оптическихъ осей слюдяной пластинки, то кристаллъ отрицателенъ, въ противномъ случаѣ—положителенъ.

Объ измѣреніи показателей преломленія смотри особенно **63.**

III. Двуосные кристаллы. Уголъ между оптическими осями

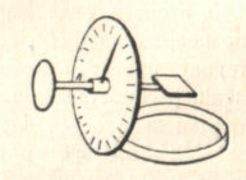
Кристаллы ромбической или одной изъ клиномѣрныхъ системъ обладаютъ двумя оптическими осями. Уголъ между ними, зависящій отъ отношеній упругостей эфира въ кристаллѣ, имѣетъ весьма различную, но опредѣленную для каждаго тѣла величину. Примѣры: азотнокислый калій, аррагонитъ, топазъ, слюда, гипсъ, баритъ, мѣдный купоросъ.

Кольцевыя фигуры. Пусть изъ двуоснаго кристалла вырѣзана пластинка перпендикулярно къ равнодѣлящей угла между осями. Въ установленномъ на темноту поляризаціономъ приборѣ съ достаточно большимъ полемъ зрѣнія пластинка даетъ фигуру изъ лемнискатъ, темныхъ и свѣтлыхъ—въ однородномъ свѣтѣ (цвѣтныя стекла держать предъ глазомъ!), окрашенныхъ—въ бѣломъ свѣтѣ, пересѣченныхъ темнымъ крестомъ или гиперболическими темными вѣтвями. Двѣ вершинныхъ точки гиперболъ, вокругъ которыхъ стягиваются лемнискаты, обозначаютъ оптическія оси кристалла. Если линія, соединяющая оба изображенія осей, совпадаетъ съ одной изъ главныхъ плоскостей прибора, появляется темный крестъ (*a*). Если повернуть кристаллическую пластинку изъ этого положенія на 45°, появляются гиперболическія вѣтви, симметричныя относительно лемнискатъ (*b*).



Измѣреніе угла между оптическими осями

На чертежѣ изображено небольшое измѣрительное приспособленіе, состоящее изъ раздѣленнаго круга, на оси котораго укрѣпляется воскомъ или посредствомъ пробки кристаллическая пластинка, и насаживаемое при помощи кольца на нижнюю часть прибора Нёрренберга (черт. 2 стр. 172).



Отмѣчаютъ на кристаллической пластинкѣ направленіе, перпендикулярное къ линіи, соединяющей изображенія оптическихъ осей,

и укрѣпляютъ затѣмъ пластинку на оси раздѣленнаго круга такъ, чтобы это направленіе совпадало съ осью вращенія.

Для установки въ направленіи оптическихъ осей наиболѣе удобна фигура b; такимъ образомъ, направляютъ ось вращенія по равнодѣлящей прямого угла между скрещенными главными плоскостями поляризаціоннаго прибора. Устанавливаютъ одно изъ изображеній оптическихъ осей (вершинная точка гиперболы) въ направленіи оси прибора (нитяный крестъ) и дѣлаютъ отчетъ на кругѣ. Уголъ α, на который слѣдуетъ затѣмъ повернуть кругъ, чтобы на оси прибора оказалась другая вершинная точка, есть видимый или внѣшній уголъ осей, т. е. уголъ между лучами, соотвѣтствующими волнамъ, идущимъ въ кристаллѣ въ направленіи осей, по выходѣ ихъ въ воздухъ.



Если извѣстенъ средній главный показатель преломленія n свѣта въ кристаллѣ (**63**, I; табл. 19), то истинный уголъ α_0 между оптическими осями кристалла находится изъ соотношенія (см. чертежъ)

$$\sin\tfrac{1}{2}\alpha_0 = (\sin\tfrac{1}{2}\alpha)/n.$$

Такъ какъ уголъ между осями зависитъ отъ цвѣта, то при точныхъ измѣреніяхъ требуется свѣтъ опредѣленнаго рода, напримѣръ, свѣтъ натріеваго пламени или краснаго стекла (Kupferglas), которое держатъ предъ глазомъ. Разность осевыхъ угловъ для различныхъ цвѣтовъ называется дисперсіей осей для этихъ цвѣтовъ.

71. Оптическая вращательная способность; сахариметрія (Біо)

Если темное поле зрѣнія поляризаціоннаго прибора становится свѣтлымъ при внесеніи прозрачнаго тѣла, то это тѣло или обладаетъ двойнымъ преломленіемъ или вращаетъ плоскость колебаній поляризованнаго свѣта. Тѣло второго рода называется „оптически дѣятельнымъ"; его называютъ „правовращающимъ", если плоскость свѣтовыхъ колебаній повертывается въ сторону, противоположную вращенію пробочника, ввинчиваемаго въ направленіи распространенія свѣта, т. е. если она повертывается въ направленіи стрѣлки часовъ для воспринимающаго глаза.

Удѣльнымъ вращеніемъ [α] твердыхъ тѣлъ (кристалловъ) называютъ уголъ вращенія, приходящійся на единицу длины тѣла, черезъ которое прошелъ свѣтъ. Для жидкостей и растворовъ оптически дѣятельныхъ тѣлъ въ недѣятельномъ растворителѣ вращеніе относятъ къ единицѣ

массы вращающаго тѣла. Если жидкость содержитъ въ 1 $см^3$ массу κ граммовъ тѣла, и слой толщины l даетъ вращеніе α, то, слѣдовательно, удѣльное вращеніе $[\alpha]=\alpha/(lk)$. Если удѣльный вѣсъ раствора s, а процентное содержаніе вещества p, то $\kappa=\frac{1}{100}ps$, и, слѣдовательно, $[\alpha]=100\alpha/lps$. Нормальной температурой считается обыкновенно 20^0.

Удѣльное вращеніе обыкновенно нѣсколько измѣняется съ увеличеніемъ концентраціи раствора, что принимаютъ въ разсчетъ, добавляя поправочные члены. Молекулярной вращательной способностью называется произведеніе удѣльнаго вращенія на молекулярный вѣсъ тѣла.

Вращеніе сильно зависитъ отъ цвѣта; болѣе преломляемый свѣтъ вращается сильнѣе: „дисперсія" при вращеніи.

Сахарные растворы изслѣдуются наиболѣе часто. Мы ограничимся приборами, служащими для этой цѣли. Вращеніе другихъ тѣлъ измѣряется такимъ же образомъ.

Удѣльное вращеніе раствореннаго въ водѣ тростниковаго сахара, почти независящее отъ температуры, равно для натріеваго свѣта $66{\cdot}5^0/дм$, т. е. уголъ вращенія α раствора, содержащаго въ 100 $см^3$ z граммовъ сахара при толщинѣ слоя l $дм$, равенъ

$$\alpha=0{\cdot}665^0 . zl, \quad \text{откуда } z=1{\cdot}504\,\alpha/l.$$

Для бѣлаго свѣта обыкновенно принимаютъ, въ среднемъ,

$$\alpha=0{\cdot}71^0 . zl, \quad \text{откуда } z=1{\cdot}41\,\alpha/l.$$

Кварцъ. Удѣльная способность вращенія въ направленіи оси равна $21{\cdot}72^0/мм$ для натріеваго свѣта, при 20^0, возрастая на $0{\cdot}003^0$ при повышеніи температуры на 1^0.

Дисперсія. Если принять вращеніе для натріеваго свѣта за единицу, то вращенія для другихъ цвѣтовъ представятся, въ среднемъ, слѣдующими приблизительными числами, одинаковыми, съ большимъ приближеніемъ, для кварца и сахара:

	красный	желтый	зеленый	голубой	фіолетовый
Среднее вращеніе =	$^7/_9$	1	$^4/_3$	$^5/_3$	$^9/_4$

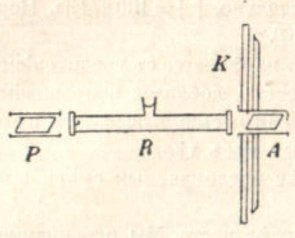
На основаніи этого, пользуясь числами, данными для натріеваго свѣта, можно разобраться въ явленіяхъ окрашиванія.

Приборы для измѣренія свѣтового вращенія (сахариметры) снабжены либо раздѣленнымъ кругомъ при анализаторѣ или поляризаторѣ, на которомъ измѣряется вращеніе изслѣдуемаго вещества (Митчерлихъ), либо „компенсаторомъ", кварцевыми клиньями, которые сдвигаютъ или раздвигаютъ до тѣхъ поръ, пока они не уничтожатъ вращеніе, вызванное изслѣдуемымъ веществомъ (Солейль).

I. Поляриметры съ вращающимся николемъ

1. Поляриметръ Митчерлиха. Приборъ состоитъ изъ неподвижнаго поляризатора-николя P и анализатора—окулярнаго николя A, вращающагося на раздѣленномъ кругѣ K. Для дальнозоркаго глаза не-

обходима кромѣ того слабая лупа предъ A или очки. Позади прибора ставятъ предъ черной ширмой натріевое пламя. Голубоватый свѣтъ отъ пламени свѣтильнаго газа устраняется желтымъ стекломъ или растворомъ двухромокислаго калія.



Вставляютъ между николевыми призмами пустую или наполненную водою трубу и, вращая окулярный николь, затемняютъ среднюю часть поля зрѣнія. Затѣмъ вставляютъ трубу, наполненную сахарнымъ растворомъ (очень равномѣрно размѣшаннымъ!), причемъ, при томъ же положеніи круга, поле зрѣнія становится свѣтлымъ. Число градусовъ, на которое слѣдуетъ повернуть анализаторъ вправо (въ направленіи часовой стрѣлки), чтобы средина стала опять темной, и есть уголъ вращенія α.

Не слѣдуетъ слишкомъ сильно привинчивать пластинки, служащія для закрыванія трубокъ, такъ какъ происходящее отъ этого въ стеклѣ двойное преломленіе мѣшаетъ установкѣ.

Вращая одинъ изъ николей въ его оправѣ, можно привести нуль вращеній на нуль дѣленій круга.

Уголъ вращенія твердаго тѣла, напримѣръ, кварцевой пластинки, вырѣзанной перпендикулярно къ оси, измѣряютъ точно такъ же, какъ указано выше, помѣщая тѣло между николями. Оптическая ось кварца должна быть точно параллельной оси прибора, если желаютъ избѣгнуть грубыхъ ошибокъ. Устанавливаютъ пластинку по зеркальному изображенію глаза или небольшого пламени, которое держатъ предъ глазомъ.

При наблюденіи въ бѣломъ свѣтѣ, въ виду того, что отдѣльные цвѣта претерпѣваютъ неодинаковое вращеніе, нельзя получить темноты, послѣ внесенія вращающаго раствора: происходитъ лишь смѣна цвѣтовъ. Устанавливаютъ на „чувствительную окраску", при которой погашается желтый цвѣтъ, т. е. на фіолетовую окраску, представляющую довольно рѣзкій переходъ отъ голубой къ красной. При вычисленіи пользуются постоянной 1·41 (стр. 177).

Сомнѣніе, вращаетъ ли тѣло влѣво или вправо, разрѣшается тѣмъ, что при вращеніи окуляра въ надлежащую сторону чувствительная смѣна цвѣтовъ идетъ отъ голубого къ красному.

Усовершенствованія въ поляриметрѣ Митчерлиха

2. Двойная кварцевая пластинка (бикварцъ). Предъ поляризаторомъ вставляются, строго перпендикулярно къ оси прибора, двѣ рядомъ расположенныя кварцевыя пластинки одинаковой толщины, лучше всего 3·75 *мм*, изъ которыхъ одна вращаетъ влѣво, другая вправо.

При скрещенныхъ или параллельныхъ николяхъ обѣ пластинки кажутся въ натріевомъ свѣтѣ одинаково яркими, въ бѣломъ свѣтѣ одинаково окрашенными. Пластинки толщиной въ 3·75 *мм* даютъ при параллельныхъ николяхъ фіолетовую, такъ называемую чувствительную окраску; онѣ очень чувствительны и при наблюденіи въ натріевомъ свѣтѣ, плоскость поляризаціи котораго повертывается ими приблизительно на 80^0.

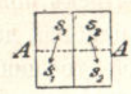
По внесеніи вращающаго вещества обѣ половины кажутся неодинаковыми. Уголъ вращенія α вещества находится, какъ уголъ, на который слѣдуетъ повернуть окулярный николь для возстановленія равенства. Если вращеніе значительно, то цвѣторазсѣяніе бѣлаго свѣта препятствуетъ достиженію полнаго равенства половинъ бикварца; въ этомъ случаѣ наблюдаютъ съ натріевымъ свѣтомъ.

3. Поляристробометръ (Вильдъ). Благодаря введенію въ приборъ пластинки Савара (два кварца или исландскихъ шпата, вырѣзанныхъ подъ угломъ въ 45^0 къ оси и сложенныхъ такъ, чтобы главныя сѣченія ихъ были скрещены и взаимно перпендикулярны), въ полѣ зрѣнія образуются полосы: темныя и свѣтлыя — въ однородномъ свѣтѣ, окрашенныя — въ бѣломъ. Предварительно выдвигаютъ окуляръ настолько, чтобы эти полосы казались возможно болѣе рѣзкими.

Сахариметрическая установка производится на исчезновеніе полосъ посрединѣ поля зрѣнія, наступающее при четырехъ положеніяхъ анализатора, отличающихся другъ отъ друга на 90^0, если главныя сѣченія поляризатора и пластинки Савара закрѣплены подъ угломъ въ 45^0 другъ къ другу. Въ новыхъ приборахъ можно, измѣняя этотъ уголъ, увеличивать чувствительность въ одной парѣ квадрантовъ на счетъ другой; въ этомъ случаѣ пользуются только болѣе чувствительными (темными) положеніями.

Въ приборахъ обыкновенно имѣется еще второй кругъ съ дѣленіями, который прямо даетъ содержаніе сахара въ граммахъ на литръ раствора, при употребленіи трубки длиной въ 200 *мм.*

4. **Полутѣневые приборы**. Поле зрѣнія раздѣлено на двѣ равныя части; въ каждой изъ нихъ свѣтъ поляризованъ, но направленія колебаній s_1 и s_2 (чертежъ) различны. Нулевое положеніе анализатора есть то, при которомъ обѣ половины кажутся одинаково яркими, т. е. при которомъ плоскость колебаній A анализатора образуетъ равные углы съ плоскостями колебаній въ обѣихъ половинахъ поля зрѣнія.



Наибольшая чувствительность относительнаго измѣненія яркости получается въ томъ случаѣ, если направленія s_1 и s_2 мало отличаются одно отъ другого, а направленіе A дѣлитъ пополамъ тупой уголъ между ними; см. чертежъ. Однако ослабленіе яркости полагаетъ предѣлъ уменьшенію угла между s_1 и s_2. Считаясь съ прозрачностью тѣла, вращеніе котораго измѣряется, подбираютъ установку, наиболѣе благопріятную въ смыслѣ наибольшей чувствительности при достаточной яркости поля зрѣнія.

Нулевое положеніе слѣдуетъ опредѣлять только послѣ этой регулировки.

Введя вращающее тѣло, снова устанавливаютъ на одинаковую яркость. α равно углу поворота, необходимому для возстановленія равенства яркостей обѣихъ половинъ поля.

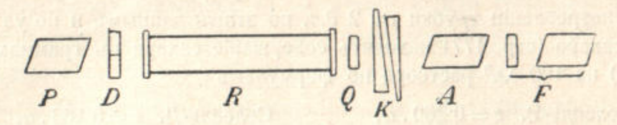
Полутѣневой сахариметръ Лорана, въ которомъ половина поля зрѣнія покрыта слюдяной или кварцевой пластинкой, требуетъ освѣщенія натріевымъ свѣтомъ.

Въ полутѣневомъ сахариметрѣ Липпиха раздѣленіе поля зрѣнія осуществляется посредствомъ поляризаціонныхъ призмъ, изъ которыхъ одна можетъ вращаться. Измѣняя установку призмъ, регулируютъ этимъ прежде всего чувствительность, сообразуясь съ яркостью освѣщенія и прозрачностью вращающаго тѣла, и только тогда опредѣляютъ нулевое положеніе. Примѣнять можно любой однородный свѣтъ.

II. Сахариметръ съ кварцевыми клиньями (Солейль)

Вращеніе плоскости поляризаціи сахарнымъ растворомъ можно компенсировать при помощи противоположно вращающей кварцевой пластинки и притомъ не только для однороднаго, но и для любого свѣта, такъ какъ дисперсія въ кварцѣ и дисперсія въ сахарномъ растворѣ очень близки къ пропорціональности (стр. 177). Вращеніе въ сахарѣ находится по величинѣ смѣщенія кварцевыхъ клиньевъ, необходимаго для компенсаціи.

Описаніе сахариметра Солейля. Свѣтъ вступаетъ въ приборъ черезъ поляризующій николь P и идетъ дальше черезъ бикварцъ D (см. I, 2). Затѣмъ слѣдуетъ трубка R, наполняемая растворомъ. Далѣе — компенсаторъ



состоящій изъ правовращающей кварцевой пластинки Q и лѣвовращающихъ клиньевъ K, которые могутъ смѣщаться относительно другъ друга при помощи зубчатки, представляя такимъ образомъ лѣвовращающій кварцъ перемѣнной толщины; въ нѣкоторомъ среднемъ положеніи общая толщина ихъ равна толщинѣ праваго кварца Q, такъ что Q и K, вмѣстѣ взятые, не оказываютъ никакого дѣйствія Это положеніе должно соотвѣтствовать нулевому дѣленію шкалы, связанной съ движущимъ механизмомъ. За компенсаторомъ слѣдуетъ николь-анализаторъ A, плоскость поляризаціи котораго должна быть параллельна плоскости поляризаціи P.

Сахарные растворы и т. п. могутъ быть окрашены; съ другой стороны, не всѣ глаза чувствительны къ одной и той же смѣнѣ цвѣтовъ; поэтому фіолетовая переходная окраска не всегда оказывается наиболѣе чувствительной. По этой причинѣ присоединяютъ обыкновенно еще регуляторъ окраски F со стороны, обращенной къ глазу (въ нѣкоторыхъ приборахъ, наоборотъ, со стороны пламени); онъ состоитъ опять-таки изъ кварцевой пластинки и вращающагося николя, съ вращеніемъ котораго мѣняется окраска поля зрѣнія. На нулевую установку прибора это вращеніе не оказываетъ никакого вліянія.

Можно пользоваться для освѣщенія и натріевымъ свѣтомъ, причемъ устанавливаютъ на одинаковую яркость. Численныя значенія дѣленій шкалы остаются приблизительно тѣ же.

Вставляютъ пустую или наполненную водой трубку, освѣщаютъ приборъ бѣлымъ пламенемъ или дневнымъ свѣтомъ и выдвигаютъ сперва соединенную съ окуляромъ небольшую зрительную трубу, не показанную выше на чертежѣ, настолько, чтобы половинки бикварца казались рѣзко ограниченными. Для полученія наиболѣе подходящей окраски устанавливаютъ сначала, посредствомъ зубчатой рейки, на невполнѣ одинаковую окраску полукруговъ. Вращая регуляторъ цвѣта (см. выше), выбираютъ окраску, при которой контрастъ между полукругами наиболѣе рѣзкій.

Устанавливаютъ посредствомъ зубчатки на одинаковую окраску и дѣлаютъ отчетъ на шкалѣ, вводятъ сахарный растворъ, снова выполняютъ установку и дѣлаютъ отчетъ, повторяя обѣ установки нѣсколько разъ.

Передвиженіе на 1 или 0·1 дѣленія соотвѣтствуетъ вращенію натріеваго свѣта

въ сахариметрѣ Солейль-Вентцке на $0{\cdot}3466^0$
„ Солейль-Дюбоска „ $0{\cdot}217^0$.

При употребленіи трубки въ 2 *дм*, по этимъ даннымъ и по удѣльному вращенію сахара (стр. 177) находятъ содержаніе сахара въ граммахъ (вѣсъ въ воздухѣ) на 100 $см^3$ раствора по формуламъ

Солейль-В. $z = 0{\cdot}260 \,.\, a$, Солейль-Д. $z = 0{\cdot}163 \,.\, a$,

гдѣ *a* передвиженіе компенсатора, въ дѣленіяхъ шкалы, при переходѣ отъ пустой трубки къ полной.

Для опредѣленія содержанія чистаго сахара въ различныхъ сортахъ сахара получается, слѣдовательно, правило: приготовляютъ растворъ, содержащій 26·0 или 16·3 *г* сахара на 100 $см^3$ раствора; тогда передвиженіе масштаба показываетъ процентное содержаніе чистаго сахара.

Для повѣрки правильности дѣленій служитъ „нормальный растворъ", содержащій 26·0 или 16·3 *г* чистаго сахара на 100 $см^3$ раствора; передвиженіе должно составлять въ этомъ случаѣ 100 дѣленій. Шкалы, значенія дѣленій которыхъ неизвѣстны, градуируются съ помощью сахарныхъ растворовъ извѣстнаго состава или кварцевыхъ пластинокъ.

Если нулевое дѣленіе шкалы должно соотвѣтствовать нулевому содержанію сахара, то ставятъ, при пустой трубкѣ, указатель на нуль и вращаютъ заднюю николеву призму, пока половинки бикварца не станутъ одинаково окрашенными.

Опредѣленіе содержанія сахара въ присутствіи другихъ вращающихъ веществъ

Поляриметрическое исключеніе другихъ, кромѣ тростниковаго сахара, вращающихъ веществъ (напримѣръ, инвертированнаго сахара, или декстрина) основано на томъ, что правовращающій тростниковый сахаръ превращается при десятиминутномъ нагрѣваніи до 70^0 съ соляной кислотой въ лѣвовращающій декстринъ.

Въ то время, какъ въ растворахъ тростниковаго сахара вращеніе почти совершенно не зависитъ отъ температуры, на растворы инвертированнаго сахара она вліяетъ довольно сильно. Слой инвертированнаго раствора *l дм* толщины, содержавшаго до превращенія *z г* тростниковаго сахара на 100 $см^3$ раствора, вращаетъ плоскость поляризаціи натріеваго свѣта при температурѣ t' на уголъ

$$[0{\cdot}2330 - 0{\cdot}00304\,(t' - 20)] \,.\, z\,l.$$

Для опредѣленія вращенія, производимаго однимъ только сахаромъ, въ растворахъ, гдѣ могутъ содержаться другія вращающія вещества, употребляется слѣдующій основанный на вышесказанномъ пріемъ. Опредѣливъ вращеніе (т. е. уголъ α или смѣщеніе a кварцевыхъ клиньевъ) въ обыкновенномъ растворѣ, берутъ 100 $см^3$ раствора, смѣшиваютъ съ 10 $см^3$ концентрированной соляной кислоты и нагрѣваютъ въ теченіе 10 минутъ до 70^0. Охладивъ этотъ инвертированный растворъ, наполняютъ имъ трубку, на одну десятую длиннѣе, чѣмъ первая (или, если пользуются той же трубкой, умножаютъ наблюдаемый теперь уголъ на 1·1), и наблюдаютъ происходящее теперь лѣвое вращеніе α' (или a'). Пусть температура раствора при этомъ второмъ наблюденіи t'. Чтобы, наконецъ, получить вращеніе, производимое однимъ только тростниковымъ сахаромъ, дѣлятъ сумму $\alpha + \alpha'$ или $a + a'$ на $1{\cdot}350 - 0{\cdot}00457\,(t' - 20)$.

Дѣйствительно, если исключаемое вращеніе другихъ, кромѣ сахара, веществъ положить равнымъ β, имѣемъ (стр. 177 и выше)

$$\alpha = 0{\cdot}665\,z\,l + \beta$$
$$\alpha' = [0{\cdot}2330 - 0{\cdot}00304\,(t' - 20)]\,z\,l - \beta.$$

Слѣдовательно,
$\alpha + \alpha' = [0{\cdot}8980 - 0{\cdot}00304\,(t' - 20)]\,z\,l = [1{\cdot}350 - 0{\cdot}00457\,(t' - 20)]\,.\,0{\cdot}665\,z\,l$; но $0{\cdot}665\,z\,l$ есть какъ-разъ вращеніе, производимое однимъ только сахаромъ.

Опредѣленіе вращательной способности въ спектрѣ

Освѣщая поляризаціонный приборъ (Митчерлиха) сложнымъ (солнечнымъ) свѣтомъ, можно разложить прошедшій свѣтъ спектральнымъ приборомъ. Скрещенное положеніе николей характеризуется тѣмъ, что весь спектръ темный. Введеніе вращающаго вещества просвѣтляетъ спектръ. Если повернуть анализаторъ, то въ спектрѣ появляется темная полоса, передвигающаяся при дальнѣйшемъ вращеніи отъ краснаго конца къ фіолетовому. Средина этой полосы соотвѣтствуетъ вполнѣ погашенному свѣту; слѣдовательно, данное положеніе анализатора измѣряетъ уголъ вращенія этого свѣта.

72. Фотометрія

Единица силы свѣта. За единицу силы источника свѣта принимается свѣча Гефнера (НК), представляющая силу свѣта въ горизонтальномъ направленіи амилацетатоваго пламени высотой 40 *мм*, на кругломъ фитилѣ діаметромъ 8 *мм*. Другими единицами служатъ: во Франціи лампа Карселя = 10·8 НК, въ Англіи спермацетовая свѣча = 1·14 НК или „десятисвѣчная пентановая лампа“, приблизительно = 11 НК.

Освѣщеніе поверхности, помѣщенной на разстояніи 1 метра отъ лампы Гефнера перпендикулярно къ лучамъ, называется 1 метръ-свѣчей или 1 „Lux"-омъ.

Если источникъ свѣта представляетъ довольно большую поверхность, самосвѣтящуюся или разсѣянно отражающую свѣтъ, то ея поверхностной яркостью называется сила свѣта единицы поверхности въ нормальномъ направленіи.

Основой измѣреній силы свѣта служитъ, въ соединеніи съ установкой на одинаковую яркость, главнымъ образомъ законъ убыванія яркости освѣщенія пропорціонально квадрату разстоянія отъ источника свѣта. Если, слѣдовательно, два источника свѣта I и II даютъ одинаковое освѣщеніе на разстояніяхъ r_1 и r_2, то силы свѣта ихъ относятся, какъ

$$i_1 : i_2 = r_1^2 : r_2^2. \tag{1}$$

Если II есть лампа Гефнера, то I обладаетъ, слѣдовательно, силой r_1^2/r_2^2 НК.

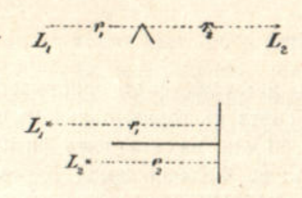
При различіи въ окраскѣ оцѣнка равенства яркостей зависитъ отъ субъективности сужденія.

При однократномъ переходѣ, въ нормальномъ направленіи, изъ воздуха въ обыкновенное стекло яркость ослабляется вслѣдствіе отраженія приблизительно на 4%.

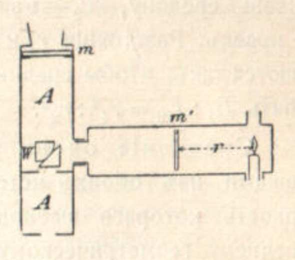
Сравненіе источниковъ свѣта

1. **Тѣневой фотометръ** (Румфордъ). Предъ бѣлымъ экраномъ ставятъ непрозрачный, не слишкомъ тонкій стержень. Источники свѣта устанавливаются такъ, чтобы обѣ тѣни стержня лежали вплотную рядомъ. Разстоянія подбираются затѣмъ такимъ образомъ, чтобы обѣ тѣни казались одинаково темными, причемъ слѣдуетъ обращать вниманіе на то, чтобы оба свѣтовыхъ пучка падали на экранъ въ области тѣней подъ равными углами. Разстоянія считаются отъ каждаго источника до тѣни, отбрасываемой другимъ. Тогда имѣетъ мѣсто предыдущее уравненіе (1).

2. **Освѣщеніе двухъ поверхностей.** Двѣ одинаковыя поверхности небольшой величины освѣщаются подъ равными углами источниками свѣта L_1 и L_2, разстоянія которыхъ r_1 и r_2 подбираются такъ, чтобы обѣ поверхности казались одинаково яркими. Посторонній свѣтъ слѣдуетъ здѣсь устранить. Поверхности можно ставить подъ угломъ другъ къ другу, освѣщая ихъ снаружи и наблюдая въ направленіи равнодѣлящей угла между ними (черт. 1), или же раздѣлить ихъ перегородкой и наблюдать въ проходящемъ свѣтѣ (черт. 2).



Въ фотометрѣ съ молочнымъ стекломъ Л. Вебера освѣщаются два молочныхъ стекла, одно — постояннымъ вспомогательнымъ пламенемъ, другое — сперва однимъ, затѣмъ другимъ источникомъ свѣта (чертежъ). Фотометренный кубъ W располагаетъ изображенія стеколъ рядомъ. Подбирая разстояніе r, достигаютъ одинаковой яркости. Этотъ же фотометръ позволяетъ измѣрять яркость освѣщенія поверхностей при любомъ положеніи послѣднихъ, для чего, удаливъ пластинку m, направляютъ вращающуюся трубу A на поверхность.

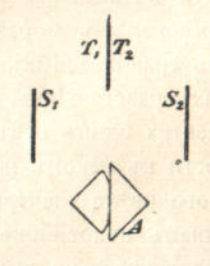


3. Сравненіе падающаго свѣта съ проходящимъ (Бунзенъ). На небольшой экранъ изъ прозрачной бумаги наносятъ жирное или стеариновое пятно въ формѣ кольца или дѣлаютъ кольцеобразную наклейку изъ тонкой бумаги, благодаря чему прозрачность экрана въ этомъ мѣстѣ становится иной.

L .... r .... L_1

Съ одной стороны экрана устанавливаютъ въ неизмѣнномъ разстояніи постоянный источникъ свѣта (маленькое газовое пламя постоянной высоты; бензиновая или керосиновая лампа, зажженная приблизительно за полчаса до начала опыта; электрическая калильная лампа при постоянномъ напряженіи). Оба сравниваемые источника свѣта ставятся по очереди по другую сторону экрана на такихъ разстояніяхъ r_1 и r_2, чтобы различныя части экрана казались одинаково яркими. Уголъ, подъ которымъ смотрятъ на кругъ, вліяетъ на кажущуюся яркость; необходимо, слѣдовательно, смотрѣть подъ однимъ и тѣмъ же угломъ.

Фотометренный кубъ (Луммеръ и Бродхунъ). И здѣсь сравниваются проходящій и отраженный свѣтъ, но безъ погрѣшностей, вносимыхъ прозрачнымъ матеріаломъ. Двѣ прямоугольныя призмы сложены гипотенузами и крѣпко прижаты другъ къ другу; края одной изъ нихъ сошлифованы, вслѣдствіе чего онѣ касаются лишь посрединѣ, причемъ соприкосновеніе полное, никакого отраженія не происходитъ, и кубъ здѣсь совершенно прозраченъ, по краямъ же происходитъ полное внутреннее отраженіе отъ гипотенузы другой призмы. Справа и слѣва отъ



одинаковаго съ обѣихъ сторонъ бѣлаго экрана T ставятся сравниваемые источники свѣта. S_1 и S_2 одинаковыя зеркала. Смотря черезъ грань A, видятъ сторону T_1 экрана въ свѣтѣ, прошедшемъ сквозь средину, T_2—въ свѣтѣ, претерпѣвшемъ полное отраженіе у краевъ. Разстоянія r_1 и r_2 источниковъ L_1 и L_2 отъ T_1 и T_2 подбираются такъ, чтобы средина и края казались одинаково яркими: тогда опять $L_1 : L_2 = r_1^2 : r_2^2$.

Сравненіе очень различныхъ силъ свѣта. Сравниваютъ каждый изъ обоихъ источниковъ свѣта съ третьимъ, постояннымъ, яркость котораго выбирается, лучше всего, приблизительно равной среднему геометрическому изъ обѣихъ силъ свѣта.

Ослабленіе посредствомъ дымчатыхъ стеколъ. Дымчатое стекло является простѣйшимъ средствомъ ослабить силу свѣта въ опредѣленномъ отношеніи. Чтобы это отношеніе опредѣлить, сравниваютъ между собою, по одному изъ предыдущихъ методовъ, два постоянныхъ источника свѣта, одинъ разъ непосредственно, а затѣмъ — ослабивъ одинъ изъ нихъ введеніемъ дымчатаго стекла. Частное отъ дѣленія обоихъ результатовъ представляетъ искомое отношеніе.

Поляризаціонные фотометры. Если поляризованный свѣтъ проходитъ черезъ какой-нибудь поляризаторъ, плоскость поляризаціи котораго не совпадаетъ съ плоскостью поляризаціи свѣта, то послѣдній ослабляется и притомъ въ отношеніи $\cos^2\varphi : 1$, если φ уголъ между обѣими плоскостями поляризаціи. Въ фотометріи различнымъ образомъ пользуются этимъ средствомъ измѣнять силу свѣта въ любомъ отношеніи измѣряемымъ образомъ.

Спектрофотометрія. Задача сравненія силъ свѣта двухъ источниковъ можетъ считаться рѣшенной, строго говоря, только въ томъ случаѣ, если сравнены другъ съ другомъ силы свѣта отдѣльныхъ испускаемыхъ ими цвѣтныхъ лучей. Для этой цѣли можетъ служить спектральный приборъ со щелью, одна половина которой можетъ быть по желанію расширяема и суживаема сравнительно съ другой измѣряемымъ образомъ. Каждая изъ половинъ освѣщается однимъ изъ сравниваемыхъ источниковъ свѣта, установленныхъ на одинаковыхъ разстояніяхъ, благодаря чему образуется два соприкасающихся спектра одинъ надъ другимъ. Если регулировкой щели уравнять яркости въ какомъ-нибудь мѣстѣ (цвѣтѣ) спектра, то силы свѣта для этого цвѣта спектра приблизительно обратно пропорціональны ширинамъ половинокъ щели. Большія разницы въ яркости смягчаются предварительно дымчатыми стеклами (см. выше).

Опредѣленіе коэффиціента абсорбціи спектрофотометромъ. Если въ свѣтовомъ потокѣ s при прохожденіи имъ слоя тѣла толщиной δ поглощается небольшое количество σ свѣта, то $\sigma/(s\delta)=A$ называется коэффиціентомъ абсорбціи тѣла для даннаго свѣта. A зависитъ отъ цвѣта. Если при прохожденіи слоя толщиной d происходитъ значительная абсорбція, то интенсивность s вступающаго свѣта уменьшается до величины

$$s'=s\,.\,e^{-Ad}.$$

Если s/s' измѣрено, находятъ, слѣдовательно,

$$A=\frac{1}{d}\log \text{nat}\,\frac{s}{s'}=\frac{1}{d}\,2{\cdot}30\,.\log \text{brigg}\,\frac{s}{s'}\,.$$

Измѣряютъ s/s' спектрофотометромъ, закрывая одну изъ половинъ щели абсорбирующимъ тѣломъ. Однако, помимо абсорбціи, происходитъ потеря свѣта, благодаря отраженію при входѣ и выходѣ. Чтобы исключить это, ставятъ одновременно предъ второй половиной щели безцвѣтное, такъ же отражающее тѣло, напримѣръ, при растворахъ окрашенныхъ веществъ сосудъ съ растворителемъ, при цвѣтныхъ стеклянныхъ пластинкахъ тонкое безцвѣтное стекло; или производятъ два наблюденія съ слоями различной толщины, принимая для d, при вычисленіи, разность толщинъ, тогда какъ s и s' означаютъ силы свѣта при прохожденіи тонкаго и толстаго слоевъ.

МАГНИТИЗМЪ

О магнитныхъ единицахъ см. **1**, Nr. 19—21.

73. Горизонтальная составляющая напряженія земного магнитизма (Гауссъ)

Знать эту величину необходимо при измѣреніи съ помощью магнитной стрѣлки нѣкоторыхъ магнитныхъ и электрическихъ величинъ.

Напряженіемъ магнитной силы или силой магнитнаго поля въ данномъ мѣстѣ называется сила, дѣйствующая въ этомъ мѣстѣ на магнитный полюсъ, равный единицѣ. Единичный же полюсъ опредѣляется тѣмъ, что на равный себѣ полюсъ на разстояніи единица онъ дѣйствуетъ съ силою 1 дины (ср. **1**, Nr. 7). — CGS-единица силы поля называется 1 гауссъ.

На обыкновенную магнитную стрѣлку дѣйствуетъ горизонтальная составляющая H силы поля. Измѣреніе H состоитъ изъ двухъ частей — изъ наблюденія періода колебанія и изъ наблюденія отклоненія. Первое наблюденіе даетъ, если извѣстенъ моментъ инерціи колеблющагося магнита, произведеніе $\mathfrak{P} = MH$ изъ магнитнаго момента M на интенсивность H. Частное же $\mathfrak{Q} = M/H$ находятъ, наблюдая отклоненіе магнитной стрѣлки тѣмъ же самымъ магнитомъ. По $\mathfrak{P}$ и $\mathfrak{Q}$ можно вычислить величины M и H каждую въ отдѣльности. Методъ можетъ служить, слѣдовательно, и для опредѣленія магнитнаго момента стержня.

Въ способѣ Гаусса для опредѣленія M/H набюдаются два отклоненія, съ различныхъ разстояній; проще довольствоваться отклоненіемъ съ одного только разстоянія, но при этомъ слѣдуетъ ввести „разстояніе полюсовъ" магнита. При наблюденіи дѣйствій на разстояніи, исходящихъ отъ прямыхъ стержней, можно считать, что магнитизмъ сосредоточенъ въ двухъ точкахъ, называемыхъ полюсами. Въ обыкновенныхъ магнитахъ эти полюсы отстоятъ отъ концовъ приблизительно на 1/12 всей длины. Разстояніе полюсовъ магнита составляетъ, слѣдовательно, 5/6 всей длины.

H въ средней Европѣ колеблется около значенія 0·2 гаусса (табл. 23). При измѣреніи обыкновенными приборами точность въ $\pm$ 0·001 можно назвать удовлетворительной. Гдѣ нѣтъ вредныхъ внѣшнихъ вліяній со стороны сосѣднихъ желѣзныхъ массъ, тамъ значеніе, взятое изъ таблицы 23, по большей части будетъ имѣть такую именно точность; въ зданіяхъ же, въ которыхъ однимъ изъ строительныхъ матеріаловъ было желѣзо, мѣстныя вліянія часто оказываются значительными. — При измѣреніи H надо слѣдить за тѣмъ, чтобы не было непредвидѣнныхъ и не поддающихся учету вліяній (напримѣръ,

отъ вещей, находящихся въ карманѣ или ящикѣ стола, отъ шпингалетовъ, отъ гвоздей, скрѣпляющихъ столъ, отъ проволокъ въ переплетѣ записной книжки, отъ стальныхъ очковъ).

I. Опредѣленіе MH изъ колебаній

Подвѣшиваютъ магнитъ на нити. Пусть t будетъ періодъ колебанія, приведенный къ безконечно малому размаху (**28**), K моментъ инерціи магнита (**29**), Θ коэффиціентъ крученія нити (**77**); тогда искомое произведеніе

$$\mathfrak{P} = MH = \frac{\pi^2 K}{t^2(1+\Theta)}.$$

Ибо направляющая сила есть $MH\,(1+\Theta)$, а квадратъ періода колебанія, дѣленный на π^2, даетъ отношеніе момента инерціи къ направляющей силѣ (**1**, Nr. 12).

II. Опредѣленіе M/H изъ отклоненій

Тѣмъ же самымъ магнитомъ производятъ отклоненіе магнитной стрѣлки съ опредѣленнаго, измѣреннаго разстоянія r; при этомъ, для исключенія асимметріи, помѣщаютъ магнитъ по ту и другую сторону отъ стрѣлки. Избираютъ одно изъ слѣдующихъ „основныхъ положеній".

Первое основное положеніе. c—центръ буссоли, NS—магнитный меридіанъ. Магнитъ, какъ изображено на рисункѣ, послѣдовательно помѣщаютъ въ двухъ положеніяхъ, къ востоку и къ западу отъ стрѣлки на одной съ нею высотѣ. Полагаемъ $r = \frac{1}{2}ab$. Это разстояніе должно равняться по меньшей мѣрѣ утроенной длинѣ магнита.

N

a c b

S

Пусть, напримѣръ, магнитъ находится въ a. Наблюдаютъ отклоненіе, причемъ производятъ отчетъ на обоихъ концахъ стрѣлки и берутъ среднее. Потомъ поворачиваютъ магнитъ на 180^0, оставляя его средину попрежнему въ a, и такъ же, какъ и прежде, наблюдаютъ отклоненіе. Изъ двухъ найденныхъ значеній снова выводятъ среднее. Это будетъ уголъ отклоненія, соотвѣтствующій положенію a. Если дѣленія на буссоли идутъ не въ обѣ стороны отъ нулевого положенія, а проходятъ черезъ это положеніе, то, разумѣется, легче производить вычисленіе, вычитая оба отчета одинъ изъ другого и беря половину этого двойного угла. Смотри примѣръ.

Точно такъ же поступаютъ при положеніи b и затѣмъ берутъ среднее изъ двухъ приблизительно равныхъ отклоненій, наблюденныхъ для того и другого положенія. Это значеніе, полученное изъ восьми отчетовъ, обозначимъ черезъ φ.

Отчитываніе обоихъ концовъ стрѣлки исключаетъ эксцентричность ея оси вращенія относительно круговыхъ дѣленій буссоли; перекладываніе магнита исключаетъ несимметричность его намагниченія; для самой стрѣлки то же самое достигается отклоненіемъ ея съ двухъ сторонъ, причемъ одновременно отпадаетъ неточность совпаденія ея оси вращенія съ центромъ. Въ то же время точность увеличивается еще и такъ, какъ она увеличивается при каждомъ восьмикратномъ повтореніи одного и того же отчета.

Для вычисленія M/H введемъ разстоянія полюсовъ $\mathfrak{L}$—магнита и $\mathfrak{l}$—стрѣлки; разстоянія эти слѣдуетъ положить равными $^5/_6$ всей длины магнита и стрѣлки. Вычисляемъ поправочную постоянную η (ср. 1, 20):

$$\eta = \tfrac{1}{2}\mathfrak{L}^2 - \tfrac{3}{4}\mathfrak{l}^2.$$

Тогда искомое частное

$$\mathfrak{Q} = \frac{M}{H} = \frac{1}{2}\,\frac{r^3 \operatorname{tg}\varphi}{1 + \eta/r^2}.$$

Второе основное положеніе. Магнитъ, производящій отклоненія, кладутъ на равныхъ разстояніяхъ къ сѣверу и къ югу отъ буссоли c, производятъ наблюденія такъ же, какъ и раньше, и вычисляютъ среднее значеніе φ. Пусть опять $r = \frac{1}{2}ab$.

Для второго основного положенія $\eta = -\frac{3}{8}\mathfrak{L}^2 + \frac{3}{2}\mathfrak{l}^2$. Вычисляютъ по предыдущей формулѣ, но безъ множителя $\frac{1}{2}$.

Изъ $\mathfrak{P} = MH$ и $\mathfrak{Q} = M/H$ находятъ

$$H = \sqrt{\frac{\mathfrak{P}}{\mathfrak{Q}}}.$$

a

c

b

Примѣръ. I. Опредѣленіе MH.

Моментъ инерціи. Прямоугольный магнитный стержень имѣлъ въ длину 10·00 *см* и въ толщину 1·25 *см*. Вѣсъ его былъ 119·86 *г*. Согласно **29**,

$$K = 119{\cdot}86\,(10{\cdot}00^2 + 1{\cdot}25^2)/12 = 1014{\cdot}4\ см^2\,г.$$

Коэффиціентъ крученія нити. Полный оборотъ нити произвелъ вращеніе магнита на 1·4°. Отсюда (**77**) $\Theta = \frac{1{\cdot}4}{360 - 1{\cdot}4} = 0{\cdot}0039$.

Періодъ колебанія. По наблюденію онъ оказался $= 7{\cdot}414$ *сек*, при дугѣ колебанія въ 30°. Слѣдовательно, по приведеніи къ безконечно малымъ дугамъ (**28**; табл. 15)

$$t = 7{\cdot}414 - 7{\cdot}414\,.\,0{\cdot}0043 = 7{\cdot}382\ сек.$$

Итакъ, имѣемъ

$$MH = \frac{\pi^2 K}{t^2(1+\Theta)} = \frac{3{\cdot}1416^2\,.\,1014{\cdot}4}{7{\cdot}382^2\,.\,1{\cdot}0039} = 183{\cdot}01\ см^2\,г/сек^2.$$

II. Опредѣленіе M/H.

Тотъ же магнитъ производилъ отклоненіе буссоли, будучи положенъ на разстояніи 30 *см* къ востоку отъ нея (первое основное положеніе). При перекладываніи магнита было отчитано

	1-ый конецъ	2-ой конецъ	
N-полюсъ къ буссоли	112·5°	292·4°	
S-полюсъ къ буссоли	67·6	247·7	
	$\varphi = 22{\cdot}45^0$	$22{\cdot}35^0$	Среднее $= 22{\cdot}40^0$.

При отклоненіи съ запада такимъ же образомъ найдено 22·68

Общее среднее $\varphi \equiv 22{\cdot}54^0$; $\operatorname{tg}\varphi = 0{\cdot}4150$.

Магнитъ имѣлъ въ длину 10·0, стрѣлка 2·0 *см*, такъ что разстоянія полюсовъ были $\mathfrak{L} = \frac{5}{6}\cdot 10 = 8{\cdot}33$ *см*, $\mathfrak{l} = \frac{5}{6}\cdot 2 = 1{\cdot}67$ *см*, откуда $\eta = \frac{1}{2}\mathfrak{L}^2 - \frac{3}{4}\mathfrak{l}^2 = 32{\cdot}6$ *см*². На основаніи всего этого

$$\frac{M}{H} = \frac{1}{2}\frac{r^3 \operatorname{tg}\varphi}{1+\eta/r^2} = \frac{1}{2}\frac{27000\,.\,0{\cdot}4150}{1+32{\cdot}6/900} = \frac{1}{2}\frac{11205}{1{\cdot}0362} = 5406 \text{ см}^3.$$

Наконецъ, $H = \sqrt{\dfrac{183{\cdot}01}{5406}} = 0{\cdot}1840\ \text{см}^{-\frac{1}{2}}\ \text{г}^{\frac{1}{2}}\ \text{сек}^{-1}$ или гауссовъ.

Гауссовскій пріемъ. Вмѣсто того, чтобы предполагать извѣстными разстоянія полюсовъ, наблюдаютъ отклоненія φ и φ' при двухъ разстояніяхъ r и r'; такимъ образомъ поправочная постоянная η исключается. Именно, въ этомъ случаѣ искомое нами частное $\mathfrak{Q}$

при первомъ основномъ положеніи $\mathfrak{Q}$ или $\dfrac{M}{H} = \dfrac{1}{2}\dfrac{r^5\operatorname{tg}\varphi - r'^5\operatorname{tg}\varphi}{r^2 - r'^2}$

при второмъ (безъ множителя $\frac{1}{2}$) $= \dfrac{r^5\operatorname{tg}\varphi - r'^5\operatorname{tg}\varphi}{r^2 - r'^2}$.

Доказательство для короткой стрѣлки въ первомъ основномъ положеніи. Если магнитъ, направленный съ запада на востокъ, отклоняетъ короткую стрѣлку, находящуюся на его продолженіи въ не слишкомъ маломъ разстояніи r, на уголъ φ, то (1, 21) $\operatorname{tg}\varphi = \dfrac{2}{r^3}\dfrac{M}{H}\left(1+\dfrac{\eta}{r^2}\right)$ или $\frac{1}{2}r^5\operatorname{tg}\varphi = \dfrac{M}{H}(r^2+\eta)$, гдѣ η для каждаго магнита величина постоянная. Для другого разстоянія r' точно такъ же $\frac{1}{2}r'^5\operatorname{tg}\varphi' = \dfrac{M}{H}(r'^2+\eta)$. При вычитаніи этихъ двухъ равенствъ η выпадаетъ, и получается результатъ, приведенный выше.

Зеркальный отчетъ. Если отклоненія измѣряются магнитометромъ, снабженнымъ зеркаломъ и шкалой (**25**), — а такой способъ имѣетъ преимущество въ томъ отношеніи, что разстоянія можно брать больше и все-таки получать хорошо измѣримыя отклоненія, — то коэффиціентъ крученія θ (**77**) магнитометра вводятъ въ вычисленіе, умножая тангенсы на $1+\theta$.

74. Временныя измѣненія земного магнитизма

Направленіе и сила земного магнитнаго поля испытываютъ незначительныя, неправильныя, по большей части медленно протекающія колебанія; колебанія эти, — мы не говоримъ о чрезвычайныхъ, сильныхъ возмущеніяхъ, возникающихъ во время сѣверныхъ сіяній и т. п. явленій, — въ нашихъ широтахъ могутъ достигать для напряженія приблизительно 1/2 процента, а для склоненія около 1/4 дугового градуса. Наблюденіе ихъ важно не только для самого земного магнитизма, но еще и для тонкихъ магнитныхъ и электрическихъ измѣреній, при которыхъ въ особенности слѣдуетъ исключать колебанія склоненія.

Вредныя вліянія широкоразвѣтвленныхъ земныхъ токовъ, происходящихъ отъ электрическихъ трамваевъ съ надземной проводкой, даже на разстояніи въ нѣсколько километровъ обыкновенно превосходятъ колебанія земного магнитизма и протекаютъ столь внезапно и неправильно, что исключить ихъ нельзя.

Измѣненія склоненія

Ихъ измѣряютъ посредствомъ магнитометра, т. е. при помощи магнита, подвѣшеннаго на нити и снабженнаго зеркальцемъ, въ которомъ наблюдается отраженіе горизонтальной шкалы. Пусть разстояніе шкалы отъ зеркала, измѣренное въ дѣленіяхъ шкалы, т. е., какъ обыкновенно, въ *мм*, $= A$. Въ такомъ случаѣ смѣщеніе изображенія относительно креста нитей на e дѣленій шкалы означаетъ вращеніе на уголъ $e/(2A)$ въ абсолютной мѣрѣ или на $1719 \, . \, e/A$ дуговыхъ минутъ (**25**). Вслѣдствіе того, что нить при этомъ закручивается, наблюденныя движенія слѣдуетъ умножать на $1 + \Theta$, гдѣ Θ коэффиціентъ крученія (**77**).

Измѣненія напряженія

Для измѣренія ихъ служитъ подвѣшенный магнитъ, могущій вращаться горизонтально и принужденный висѣть перпендикулярно къ магнитному меридіану; послѣднее достигается либо способомъ его подвѣшиванія — обыкновенно бифилярнымъ, — либо приближеніемъ постоянныхъ магнитовъ. Отчетъ производится опять-таки посредствомъ зеркала и шкалы.

Назовемъ черезъ E то измѣненіе напряженія, которое отвѣчаетъ повороту стрѣлки на 1 дѣленіе шкалы, при этомъ пусть E выражено въ частяхъ самого напряженія. Слѣдовательно, если установкѣ на дѣленіи p соотвѣтствуетъ напряженіе H, то установкѣ p' будетъ соотвѣтствовать

$$H' = H\,[1 + E\,(p' - p)].$$

Опредѣленіе значенія шкалы E. Дѣйствуютъ на варіометръ съ сѣвера или съ юга магнитомъ, положеннымъ на одной высотѣ съ варіометромъ, на большомъ разстояніи r въ сѣверо-южномъ направленіи, и производятъ отчетъ. Затѣмъ повертываютъ магнитъ на 180^0 и снова производятъ отчетъ; пусть разность обоихъ отчетовъ составляетъ n дѣленій шкалы; тогда цѣна одного дѣленія шкалы

$$E = \frac{1}{n} \cdot \frac{4}{r^3} \cdot \frac{M}{H}.$$

M есть магнитизмъ отклоняющаго магнита; достаточно, однако, знать лишь отношеніе его къ земному магнитизму, что по **73** II или **76** достигается посредствомъ простого отклоненія.

Доказательство. Магнитъ M, дѣйствуя съ большого разстоянія r, въ своихъ двухъ положеніяхъ увеличиваетъ или уменьшаетъ напряженіе H на $2M/r^3$. Такъ какъ при перекладываніи M установка измѣняется на n дѣленій шкалы, то 1 дѣленіе шкалы обозначаетъ измѣненіе на $4M/(nr^3)$ или, въ доляхъ самого напряженія, на $4M/(nr^3H)$, что и требовалось доказать.

При продолжительныхъ наблюденіяхъ приходится вводить еще поправки на температуру, ибо магнитизмъ стержня на каждый $+1^0$ уменьшается по меньшей мѣрѣ на нѣсколько десятитысячныхъ.

75. Сравненіе горизонтальной составляющей въ двухъ мѣстахъ

Мѣстныя вліянія, порождаемыя сосѣдствомъ желѣзныхъ массъ, при физическихъ измѣреніяхъ важны главнымъ образомъ постольку, поскольку они отзываются на горизонтальной составляющей силы поля.

Сравненіе наблюденіемъ колебаній

Одну и ту же магнитную стрѣлку заставляютъ колебаться въ томъ и другомъ мѣстѣ; напряженія обратно пропорціональны квадратамъ періодовъ колебанія.

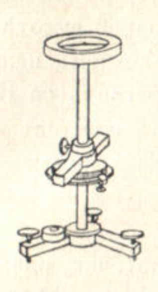
Сравненіе наблюденіемъ отклоненій

Для грубаго опредѣленія устанавливаютъ буссоль въ томъ и другомъ мѣстѣ и отклоняютъ ее магнитомъ съ опредѣленнаго разстоянія. Если отклоненія равны α_1 и α_2, то

$$H_1 : H_2 = \operatorname{tg} \alpha_2 : \operatorname{tg} \alpha_1.$$

Переносный варіометръ

Приборъ этотъ даетъ гораздо большую чувствительность, благодаря тому, что стрѣлка здѣсь отклоняется почти на 90^0. Подъ буссолью находится магнитъ, могущій вращаться между двумя неподвижными задержками; линія,



проходящая посрединѣ между задержками, должна быть параллельна меридіану. Будучи прислоненъ къ той или другой задержкѣ, магнитъ долженъ устанавливать стрѣлку буссоли въ двухъ положеніяхъ, каждый разъ располагая ее по восточно-западному направленію; этому требованію слѣдуетъ удовлетворить заранѣе установкой магнита на подходящей высотѣ и перемѣщеніемъ задержекъ.

Ставятъваріометръ въ одномъ изъ двухъ подлежащихъ сравненію мѣстъ (I) и съ помощью уровня дѣлаютъ его ось вращенія вертикальной. Затѣмъ достигаютъ правильнаго оріентированія въ меридіанѣ, устанавливая магнитъ посрединѣ между задержками и вращая весь инструментъ до тѣхъ поръ, пока стрѣлка не станетъ параллельной магниту.

Наконецъ, прислоняютъ магнитъ сначала къ одной, потомъ къ другой задержкѣ. Условимся отчитывать остріе стрѣлки всегда на той сторонѣ буссоли, гдѣ дѣленія возрастаютъ къ сѣверу. Пусть сѣверный полюсъ стрѣлки устанавливается здѣсь на дѣленіи p_n; послѣ перекладыванія магнита южный полюсъ тамъ же пусть показываетъ на p_s; то и другое въ дуговыхъ градусахъ. Положимъ, что разность $p_n - p_s = \delta_1$.

На мѣстѣ II продѣлываютъ то же самое; указанная разность пусть имѣетъ здѣсь значеніе δ_2.

Если φ означаетъ половину угла поворота между двумя задержками, то относительная разность земныхъ магнитныхъ полей въ томъ и другомъ мѣстѣ, при малыхъ δ_1 и δ_2, выразится такъ:

$$\frac{H_1 - H_2}{H} = [0{\cdot}0087 \operatorname{tg} \varphi] \, . \, (\delta_1 - \delta_2) = C \, . \, (\delta_1 - \delta_2).$$

Переводный множитель $C = 0{\cdot}0087 \operatorname{tg} \varphi$ получаетъ для $\varphi = 29{\cdot}8^0$ удобное значеніе 0·0050.

Доказательство. Назовемъ черезъ J направляющую силу, возникающую отъ магнита на томъ мѣстѣ, гдѣ находится буссоль. J дѣйствуетъ всегда параллельно магниту, и если послѣдній повернутъ на нашъ уголъ φ, то въ сѣверо-южномъ направленіи онъ даетъ слагающую $J \cos\varphi$, а въ восточно-западномъ $J \sin\varphi$. Далѣе, пусть H_0 означаетъ то напряженіе земного магнитнаго поля, которое какъ-разъ компенсируется посредствомъ $J \cos\varphi$, т. е. при которомъ стрѣлка устанавливается въ точности въ восточно-западномъ направленіи; слѣдовательно, $J \cos\varphi = H_0$, а $J \sin\varphi = H_0 \operatorname{tg}\varphi$ означаетъ силу поля (исходящую отъ магнита), удерживающую стрѣлку въ восточно-западномъ направленіи.

Въ мѣстѣ I существуетъ сила земного магнитнаго поля H_1, слѣдовательно, здѣсь часть $H_1 - H_0$ не компенсируется. Эта часть отклоняетъ стрѣлку изъ восточно-западнаго положенія на уголъ ϵ_1, который черезъ упомянутое выше напряженіе $H_0 \operatorname{tg} \varphi$, удерживающее стрѣлку, выражается посредствомъ равенства

$$\operatorname{tg} \epsilon_1 = (H_1 - H_0)/(H_0 \operatorname{tg} \varphi); \quad \text{отсюда} \quad (H_1 - H_0)/H_0 = \operatorname{tg} \varphi \cdot \operatorname{tg} \epsilon_1.$$

Соотвѣтствующее выраженіе будемъ имѣть и для мѣста II. Такъ какъ ϵ_1 и ϵ_2 означаютъ наши $\frac{1}{2}\delta_1$ и $\frac{1}{2}\delta_2$ и такъ какъ вслѣдствіе малости угла можно положить $\operatorname{tg} \frac{1}{2}\delta = \frac{1}{2}\delta/57{\cdot}3^0 = 0{\cdot}0087\,\delta$ (**5**, рав. 10), то легко получается приведенная выше формула.

Температура. Если можно сдѣлать отчеты въ различныхъ мѣстахъ быстро одинъ вслѣдъ за другимъ, то лучше всего держать температуру магнита постоянной, окружая его въ случаѣ надобности ватой или войлокомъ. Въ противномъ случаѣ слѣдуетъ вводить температурныя поправки.

76. Опредѣленіе магнитнаго момента

Просто и легко производятся импровизированныя опредѣленія на основаніи методовъ, сводящихъ магнитный моментъ стержня къ земному магнитизму.—Магнитизмъ стержневыхъ магнитовъ убываетъ на каждый $+1^0$ температуры на $\frac{1}{3000} - \frac{1}{1000}$, смотря по стержню. По причинѣ этого, а также вслѣдствіе измѣненія со временемъ, рѣдко предъявляются требованія большой точности. Поэтому съ достаточной точностью можно воспользоваться для даннаго мѣста горизонтальной слагающей H, взятой изъ табл. 23.

Опредѣленіе изъ отклоненій

Пусть магнитный стержень въ первомъ основномъ положеніи (**1**, 20 и **73** II) отклоняетъ стрѣлку съ разстоянія r на уголъ φ. Относительно точнаго опредѣленія φ посредствомъ отчета обоихъ концовъ стрѣлки, перекладыванія магнита и отклоненія съ двухъ сторонъ см. стр. 189 и примѣръ стр. 191.

Если разстояніе r велико по сравненію съ длиною магнита, то магнитный моментъ (**1**, 20)

$$M = \frac{1}{2} r^3 H \operatorname{tg} \varphi.$$

Въ противномъ случаѣ снова (стр. 190) называемъ черезъ $\mathfrak{L}$ и $\mathfrak{l}$ разстоянія полюсовъ магнита и стрѣлки ($^5/_6$ ихъ длины), вычисляемъ $\eta = \frac{1}{2}\mathfrak{L}^2 - \frac{3}{4}\mathfrak{l}^2$ и дѣлимъ вышеприведенное M на $(1 + \eta/r^2)$.

При измѣреніяхъ во второмъ основномъ положеніи множитель $\frac{1}{2}$ отпадаетъ и въ случаѣ надобности вводится $\eta = -\frac{3}{8}\mathfrak{L}^2 + \frac{3}{2}\mathfrak{l}^2$.

Метровая линейка, дѣленная на *см* и расположенная съ востока на западъ (для 2-го основного положенія съ сѣвера на югъ), съ находящейся посрединѣ ея буссолью, по большей части достаточна для измѣреній. Если имѣется въ распоряженіи магнитометръ (или зеркальный гальванометръ), установленный подходящимъ образомъ, то отклоненіе можно измѣрить точнѣе и въ то же время взять разстояніе настолько большимъ, что ни въ какой поправкѣ нѣтъ надобности. За $\operatorname{tg}\varphi$ можно съ достаточнымъ приближеніемъ (**25**) принять отклоненіе, дѣленное на удвоенное разстояніе шкалы и умноженное на $(1+\Theta)$, гдѣ Θ означаетъ коэффиціентъ крученія нити (**77**).

Опредѣленіе наблюденіемъ колебаній

Для магнитнаго стержня правильной формы моментъ инерціи K (**29**) можно вычислить, а изъ періода колебанія t получается

$$M=\frac{\pi^2 K}{t^2 H(1+\Theta)}.$$

„Удѣльнымъ магнитизмомъ" или „намагниченіемъ" стержня называютъ магнитный моментъ единицы объема. Удѣльный магнитизмъ стержня съ моментомъ M и объемомъ v *см*^{3} равняется, слѣдовательно, M/v. Даже при очень благопріятной формѣ постоянныхъ стальныхъ магнитовъ, т. е. при магнитахъ относительно очень тонкихъ, удѣльный магнитизмъ можетъ достигать въ лучшемъ случаѣ лишь 700 CGS на 1 *см*^{3} или 100 на 1 *г* стали.

77. Коэффиціентъ крученія подвѣшеннаго магнита

Благодаря нити, служащей для подвѣшиванія, къ магнитной направляющей силѣ D_m прибавляется еще упругая D_e. Отношеніе $D_e/D_m=\Theta$ называется коэффиціентомъ крученія (Torsionsverhältnis). Отклоненіе, испытываемое магнитомъ, становится поэтому въ $(1+\Theta)$ разъ меньше, а періодъ колебанія въ $\sqrt{1+\Theta}$ разъ меньше, чѣмъ при дѣйствіи одной только магнитной направляющей силы.

Чѣмъ легче магнитъ, тѣмъ меньше можно сдѣлать коэффиціентъ крученія, ибо подъемная сила нити возрастаетъ пропорціонально квадрату, а моментъ крученія — пропорціонально 4-ой степени толщины. Тонкія нити изъ внутреннихъ частей кокона или тонкія кварцевыя нити часто даютъ коэффиціентъ крученія исчезающе малой величины.

Чтобы опредѣлить Θ, сообщаютъ нити измѣренное крученіе α и наблюдаютъ новую установку магнита; пусть она отличается отъ первоначальной на уголъ φ. Тогда

$$\Theta=\varphi/(\alpha-\varphi).$$

Если нѣтъ крутильнаго круга, то поворачиваютъ магнитъ на полный оборотъ, ничего не измѣняя въ верхнемъ прикрѣпленіи; при этомъ слѣдуетъ положить $\alpha = 360^0$.

Отклоненіе e при разстояніи шкалы A означаетъ уголъ $\varphi = 57{\cdot}3^0 . e/(2A)$. Если α равняется полному обороту, то вычисленіе производятъ, полагая просто $\alpha = 2\pi = 6{\cdot}28$ и $\varphi = e/(2A)$.

78. Магнитное склоненіе. Измѣреніе угловъ буссолью

Табл. 23 содержитъ западное склоненіе для географическихъ долготъ и широтъ средней Европы, т. е. тотъ уголъ, на который сѣверный полюсъ стрѣлки уклоняется къ западу. Числа таблицы не болѣе, чѣмъ на $\frac{1}{2}$ градуса уклоняются отъ тѣхъ, которыя получаются въ дѣйствительности на открытыхъ мѣстахъ. Поэтому съ умѣренной точностью можно опредѣлить астрономическій азимутъ по магнитной стрѣлкѣ.

Напримѣръ, можно опредѣлить направленіе стѣны и т. п., прикладывая къ ней буссоль, коробка которой ограничена прямыми линіями; можно опредѣлить направленіе горизонтальной линіи, проэктируя ее на дѣленія поставленной надъ ней буссоли; направленіе луча зрѣнія къ отдаленному предмету или уголъ между двумя такими лучами; въ послѣднемъ случаѣ къ буссоли присоединяется діоптръ или подзорная труба.

Обратно, можно опредѣлить склоненіе, если направленіе стѣны линіи и т. п. извѣстно. Разсматривать точные способы опредѣленія склоненія здѣсь не мѣсто.

Вліяніе тренія на остріѣ уменьшаютъ слабыми встряхиваніями буссоли предъ отчетомъ стрѣлки.

Предъ употребленіемъ карманной буссоли слѣдуетъ на нее дохнуть, чтобы избавиться отъ возможнаго электрическаго заряда.

79. Магнитное наклоненіе

Уголъ, который направленіе земной магнитной силы образуетъ съ горизонтомъ (въ средней Европѣ уголъ этотъ составляетъ $60 - 70^0$), называется угломъ наклоненія. Направленіе магнитной силы можетъ дать магнитная стрѣлка, способная вращаться въ магнитномъ меридіанѣ; центръ тяжести ея долженъ лежать на горизонтальной оси вращенія.

Инклинаторъ состоитъ изъ вертикальнаго раздѣленнаго круга, который устанавливается въ магнитномъ меридіанѣ съ помощью буссоли, и изъ магнитной стрѣлки, вращающейся внутри этого круга. Вслѣдствіе эксцентричности отчеты производятъ всегда по обоимъ концамъ стрѣлки и изъ долей градуса берутъ среднее. Если есть

возможность, то слѣдуетъ производить отчеты не тогда, когда стрѣлка установится неподвижно, а отчитывать поворотныя точки малыхъ колебаній, и отсюда выводить положеніе равновѣсія стрѣлки, какъ это дѣлается у вѣсовъ; вліяніе тренія при этомъ слабѣе.

Разстановка цифръ на кругѣ у разныхъ инструментовъ различна. Мы примемъ, что во всѣхъ квадрантахъ счетъ идетъ отъ горизонтальной черты, которая и принимается за нулевую.

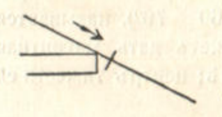
Нулевое дѣленіе инклинатора съ неподвижнымъ кругомъ устанавливаютъ при помощи отвѣса, спускающагося съ верхняго дѣленія. Въ инструментѣ съ вращающимся кругомъ ось вращенія должна быть вертикальна; признакомъ этого служитъ то, что пузырекъ находящагося при инструментѣ уровня при всѣхъ положеніяхъ круга остается на одномъ и томъ же мѣстѣ (**30**, 1).

Возможное уклоненіе магнитной оси стрѣлки отъ ея геометрической оси и отъ центра тяжести, положеніе котораго неизвѣстно, требуетъ перекладыванія стрѣлки (причемъ мѣняются передняя и задняя ея стороны) или, если кругъ вращается, поворачиванія его вмѣстѣ со стрѣлкой на 180^0. Однако продольное смѣщеніе центра тяжести относительно оси вращенія этимъ не исключается. Поэтому необходимо стрѣлку перемагничивать и снова наблюдать въ двухъ положеніяхъ.

Такимъ образомъ получаются четыре угла наклоненія. Заранѣе предполагаемъ, что они мало отличаются другъ отъ друга; истинный уголъ наклоненія получается, какъ среднее ариѳметическое изъ четырехъ значеній.

При этомъ предполагается, что магнитизмъ стрѣлки до и послѣ перемагниченія ея одинаковъ; этого почти можно достигнуть, старательно и каждый разъ одинаково натирая тонкую стрѣлку.

Натираніе стрѣлки. Берутъ стрѣлку за одинъ конецъ по близости отъ ея оси вращенія, прикладываютъ другой конецъ къ полюсу магнита и проводятъ стрѣлку по полюсу магнита до самаго острія, примѣрно такъ, какъ показано на рисункѣ. Такимъ образомъ натираютъ, напримѣръ, обѣ поверхности одного конца по два раза, затѣмъ обѣ поверхности другого конца по четыре раза и наконецъ обѣ первыя снова по два раза.



Объ опредѣленіи наклоненія посредствомъ земного индуктора см. **109**.

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

80. О гальваническихъ работахъ вообще

I. Законы, связывающіе силу тока i, электродвижущую силу или напряженіе E и сопротивленіе w

Единицы

Единицы, построенныя на основаніи Веберовскихъ опредѣленій абсолютной системы мѣръ, приводятся, посредствомъ умноженія на нѣкоторую степень 10, къ величинамъ, удобнымъ для практическихъ примѣненій (ср. **1.** 22, 24 и 27). Такимъ путемъ получаются

для силы тока	1 амперъ $= 10^{-1}$	Веберовскихъ CGS-единицъ
для сопротивленія	1 омъ $= 10^{9}$	" " "
для напряженія или электродвижущей силы	1 вольтъ $= 10^{8}$	" " "

1 милливольтъ $= 10^{-3}$ вольтъ; 1 микровольтъ $= 10^{-6}$ вольтъ и т. д.

Трудность абсолютныхъ измѣреній побудила свести въ законодательномъ порядкѣ силу тока къ электрохимическому эквиваленту, а сопротивленіе къ ртути,—слѣдующимъ образомъ (международныя единицы)[1]:

Силою въ одинъ амперъ обладаетъ постоянный токъ, отлагающій въ секунду 1·118 *мг* серебра.

Сопротивленіемъ 1 омъ обладаетъ столбъ ртути въ 1·063 *м* длины и въ 1 *мм*² поперечнаго сѣченія при 0°. Этотъ столбъ вѣситъ 14·4521 *г*.

1 омъ = 1·063 единицъ Сименса = 1·0136 единицъ Брит. Асс.

Наконецъ, 1 вольтъ есть электродвижущая сила или напряженіе, производящее въ сопротивленіи 1 омъ токъ въ 1 амперъ.

Законы Ома

1. Сопротивленіе цилиндра, имѣющаго длину l и поперечное сѣченіе q, вдоль котораго течетъ равномѣрно распредѣленный по нему токъ равняется

$$w = \frac{1}{\kappa}\frac{l}{q} \quad \text{или} \quad = \sigma\frac{l}{q}.$$

$\frac{1}{w}$ называютъ электропроводностью всего цилиндра. κ называется электро-

---

[1]) Одно время омъ опредѣлялся, какъ 1·060 *м* Hg 0° („легальный омъ", „Легальный вольтъ" былъ, слѣдовательно, тоже приблизительно на 3‰ меньше истиннаго.

проводностью (или удѣльной электропроводностью), $\frac{1}{\kappa}$ или σ — удѣльнымъ сопротивленіемъ вещества проводника.

Въ таблицахъ 20 и 21 даны κ и σ, отнесенные къ ому, *см* и *см*², для обычно употребляемыхъ проводниковъ; для чистой мѣди, напримѣръ, $\sigma = 0{\cdot}00000172$. Сопротивленіе мѣдной проволоки длиною L *м*, т. е. $l = 100\,L$ *см*, и діаметромъ d *мм*, т. е. съ поперечнымъ сѣченіемъ $q = (0{\cdot}05\,d)^2 . \pi = 0{\cdot}00785\,d^2$ *см*², составляетъ, слѣдовательно, $w = 0{\cdot}00000172 \cdot \frac{100\,L}{0{\cdot}00785 \,.\, d^2} = 0{\cdot}022 \,.\, L/d^2$ ома. — Одинъ кубическій сантиметръ раствора сѣрной кислоты, при наибольшей электропроводности $\kappa = 0{\cdot}74$, имѣетъ при 18° сопротивленіе $w = 1/0{\cdot}74 = 1{\cdot}35$ ома.

О сопротивленіи другихъ формъ см. **96**, введеніе.

2. Общее сопротивленіе нѣсколькихъ проводниковъ, расположенныхъ послѣдовательно, равно суммѣ ихъ сопротивленій.

3. Электродвижущая сила постоянной цѣпи равна разности потенціаловъ или напряженію между ея полюсами въ разомкнутомъ состояніи. Общая электродвижущая сила всей цѣпи равна алгебраической суммѣ отдѣльныхъ электродвижущихъ силъ.

4. Сила тока i въ замкнутой цѣпи равна электродвижущей силѣ E, дѣленной на сопротивленіе w цѣпи: $i = E/w$.

Равенство $i = E/w$ или $E = iw$ справедливо также для проводника съ сопротивленіемъ w, который самъ по себѣ не содержитъ электродвижущей силы; въ этомъ случаѣ подъ E слѣдуетъ разумѣть разность потенціаловъ или напряженій между двумя конечными точками w (такъ называемое потребленіе потенціала токомъ i въ сопротивленіи w); сравни, напримѣръ, доказательство равенства Витстона въ **93**.

Развѣтвленіе тока. Если токъ J развѣтвляется на нѣсколько путей съ сопротивленіями $w_1, w_2 \ldots$, и если отдѣльные развѣтвленные токи соотвѣтственно равны $i_1, i_2 \ldots$, то справедливы слѣдующія положенія 5, 6 и 7 (см. верхній изъ рисунковъ на слѣд. стр.):

5. Сумма развѣтвленныхъ токовъ равна неразвѣтвленному току:

$$i_1 + i_2 + \cdots = J.$$

6. Отдѣльные развѣтвленные токи обратно пропорціональны сопротивленіямъ соотвѣтствующихъ путей (или прямо пропорціональны электропроводностямъ путей):

$$i_1 : i_2 : \ldots = \frac{1}{w_1} : \frac{1}{w_2} : \ldots$$

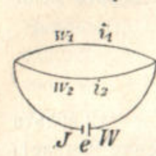
7. Общая электропроводность развѣтвленнаго пути равна суммѣ электропроводностей отдѣльныхъ путей, т. е. равна $\frac{1}{w_1} + \frac{1}{w_2} + \cdots$ Два параллельно включенныхъ сопротивленія w_1 и w_2 составляютъ, слѣдовательно, вмѣстѣ путь съ сопротивленіемъ $w_1 w_2/(w_1 + w_2)$.

Правила Кирхгофа. Положенія 2—7 совмѣщаются въ слѣдующихъ двухъ:

A. Въ каждой точкѣ развѣтвленія сумма силъ токовъ равна нулю, если приписать противоположные знаки приходящимъ и уходящимъ токамъ.

B. Если взять любую замкнутую въ самой себѣ часть цѣпи и при обходѣ считать въ ней электродвижущія силы и токи въ одномъ направленіи положительными, въ другомъ—отрицательными, то сумма произведеній отдѣльныхъ сопротивленій на соотвѣтствующія силы тока равна суммѣ электродвижущихъ силъ.

1-й примѣръ. Простое развѣтвленіе тока.



по правилу A $\quad i_1 + i_2 = J,$

по правилу B $\quad i_1 w_1 - i_2 w_2 = 0$ и $JW + i_1 w_1 = e.$

Изъ этихъ равенствъ слѣдуетъ

$$J = e \frac{w_1 + w_2}{W(w_1 + w_2) + w_1 w_2}; \quad i_1 = e \frac{w_2}{W(w_1 + w_2) + w_1 w_2} \text{ и т. д.,}$$

такъ что, напримѣръ, $J : i_1 = (w_1 + w_2) : w_2; \quad i_1 : i_2 = w_2 : w_1.$

2-ой примѣръ. Витстоновское соединеніе; обозначивъ отдѣльные развѣтвленные токи и сопротивленія соотвѣтственно цифрамъ чертежа, получимъ

$$J - i_1 - i_2 = 0 \qquad JW + i_1 w_1 + i_3 w_3 = e$$
$$i + i_2 - i_4 = 0 \qquad iw - i_2 w_2 + i_1 w_1 = 0$$
$$i + i_3 - i_1 = 0 \qquad iw + i_4 w_4 - i_3 w_3 = 0$$

откуда, напримѣръ, для случая, когда сила тока въ мостѣ $i = 0$, получается

$$w_1 : w_2 = w_3 : w_4.$$

II. Возбудители тока

Амальгамированіе цинка. Сперва придаютъ цинку чистую металлическую поверхность — механическимъ путемъ или погруженіемъ въ сѣрную (лучше въ соляную) кислоту,— а затѣмъ натираютъ ртутью или погружаютъ цинкъ въ растворъ хлористой или азотнокислой ртути. Послѣ употребленія цинкъ слѣдуетъ тотчасъ же почистить щеткой или сполоснуть водою.

Глиняные сосуды. Сосуды, послѣ употребленія, споласкиваютъ водою, даютъ водѣ фильтроваться сквозь нихъ и погружаютъ сосуды въ воду. При составленіи элемента глиняный сосудъ слѣдуетъ смочить сначала не растворомъ мѣднаго купороса или азотной кислоты, а сѣрной кислотой. Сѣрную кислоту надо наливать такъ, чтобы она образовала столбъ нѣсколько болѣе высокій, чѣмъ другія, болѣе тяжелыя жидкости (на 1/10 или 1/5 всего столба), съ тою цѣлью, чтобы затруднить послѣднимъ проникновеніе къ цинку.

Сѣрная кислота. Для цинка оказывается подходящимъ растворъ приблизительно въ 30 $см^3$ H_2SO_4 на литръ воды; удѣльный вѣсъ 1·03. Вслѣдствіе разогрѣванія приливаютъ кислоту къ водѣ медленно и при непрерывномъ помѣшиваніи. Въ аккумуляторахъ (кислота чистая!) въ заряженномъ состояніи удѣльный вѣсъ долженъ быть 1·16, въ незаряженномъ 1·13.

Растворъ мѣднаго купороса. Приблизительно 1 часть кристаллической соли на 3 части воды. Токъ потребляетъ растворъ, вслѣдствіе чего измѣняется высота столба жидкости.

Азотная кислота. Для болѣе сильныхъ токовъ берется въ „концентрированномъ“ видѣ.

Хромовая кислота. 92 *г* порошка двухромокислаго калія растираютъ съ 94 *см*³ H_2SO_4 въ однородную кашицу и растворяютъ затѣмъ, при помѣшиваніи, въ 900 *см*³ воды. Если цинкъ долженъ стоять въ жидкости болѣе продолжительный срокъ, то этотъ растворъ слѣдуетъ разбавить.

Нѣсколько дороже, зато въ остальныхъ отношеніяхъ предпочтительнѣе, — хромовая кислота, растворенная въ водѣ, съ прибавкой нѣкотораго количества сѣрной кислоты.

Элементы

Даніеля. Zn, H_2SO_4, $CuSO_4$, Cu. Напряженіе отъ 1·08 до 1·12 вольта. Первое время послѣ сборки электродвижущая сила обыкновенно бываетъ нѣсколько меньше. Сопротивленіе элемента обыкновенной величины — приблизительно 0·6 — 0·3 ома.

Бунзена или Грове. Zn, H_2SO_4, HNO_3, C или Pt. Электродвижущая сила при хорошемъ состояніи элемента = приблизительно 1·9 вольта. Сопротивленіе элемента обыкновенной величины приблизительно равно 0·2 — 0·1 ома.

Элементъ съ хромовой кислотой. Zn, H_2CrO_4, C. Электродвижущая сила при не особенно сильномъ токѣ = 2·0 вольта. Если жидкость отъ употребленія становится совсѣмъ темной, или даже выдѣляются хромовые квасцы, то элементы дѣлаются слабыми и непостоянными.

Сухіе элементы. Это элементы, содержащіе цинкъ, уголь и электролитъ, которому придаютъ видимую твердость, заставляя его пропитывать пористую массу или добавляя къ нему индифферентное твердое вещество.

Аккумуляторы. Сопротивленіе по большей части очень мало. Электродвижущая сила отъ 2·0 до 2·02 вольта. Элементы слѣдуетъ заряжать по крайней мѣрѣ каждыя три-четыре недѣли и во всякомъ случаѣ всегда, когда дѣйствіе ихъ идетъ на убыль!

Примѣненіе элементовъ. Для полученія сильныхъ токовъ въ малыхъ сопротивленіяхъ слѣдуетъ примѣнять въ элементахъ большія металлическія пластины на близкомъ разстояніи одна отъ другой, а также брать мѣдный купоросъ или азотную кислоту съ большой электропроводностью и концентраціей. Для токовъ въ проводникахъ съ большимъ сопротивленіемъ эти обстоятельства не такъ важны; тамъ важно число соединенныхъ послѣдовательно элементовъ.

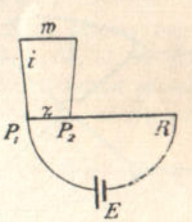
Составленіе батареи. Чтобы получить наибольшую силу тока въ данной внѣшней проводкѣ, слѣдуетъ такъ распредѣлить элементы въ параллельномъ или послѣдовательномъ соединеніи, чтобы внутреннее сопротивленіе было приблизительно равно внѣшнему. Сопротивленіе n элементовъ, соединенныхъ параллельно, въ n^2 разъ меньше, чѣмъ при послѣдовательномъ соединеніи.

Нормальный элементъ Кларка. Чистая ртуть, Hg_2SO_4 (закись!), $ZnSO_4$, чистый цинкъ или цинковая амальгама изъ 90 частей чистой ртути

и 10 частей чистаго цинка. — Напряженіе при 18⁰ равно 1·4292 вольта и падаетъ на каждый $+1^0$ на 0·0012 вольта. Наибольшая допустимая сила тока, не вызывающая поляризаціи, при обыкновенной величинѣ элемента, равна, можетъ быть, 1/20000 ампера. Послѣ болѣе или менѣе продолжительной непосильной работы элементъ возстановляется очень медленно.

Кадміевый нормальный элементъ (Вестона). Устроенъ такъ же, какъ и предыдущій, только вмѣсто Zn и $ZnSO_4$ — Cd и $CdSO_4$. Преимущество его въ томъ, что вліяніе температуры здѣсь гораздо менѣе значительно. Напряженіе при 18^0 равно 1·0187 вольта и на каждый $+1^0$ падаетъ на 0·00004. Элементы съ постояннымъ (насыщеннымъ при 4^0) кадміевымъ растворомъ, выпускаемые Вестоновской компаніей, даютъ, независимо отъ температуры, 1·019 вольта.

Полученіе слабыхъ электродвижущихъ силъ посредствомъ отвѣтвленія. Элементъ (Даніэля, аккумуляторъ) замыкаютъ нѣкоторымъ постояннымъ сопротивленіемъ (реостатъ или голая проволока) и пользуются двумя точками этой цѣпи P_1 и P_2, какъ полюсами. Если предположить, что отвѣтвленный токъ i малъ по сравненію съ основнымъ токомъ, то электродвижущая сила въ отвѣтвленіи, т. е. напряженіе между P_1 и P_2, будетъ относиться къ E такъ, какъ сопротивленіе z между P_1 и P_2 къ полному сопротивленію R.



Динамомашина. Токи отъ машинъ часто бываютъ непостоянны вслѣдствіе колебаній газомотора. Токъ можетъ сдѣлаться очень постояннымъ, если параллельно съ машиной, въ томъ же направленіи, включить подходящее число аккумуляторовъ („буферная батарея“). Ср. также **104**.

III. Соединеніе проводниковъ между собою

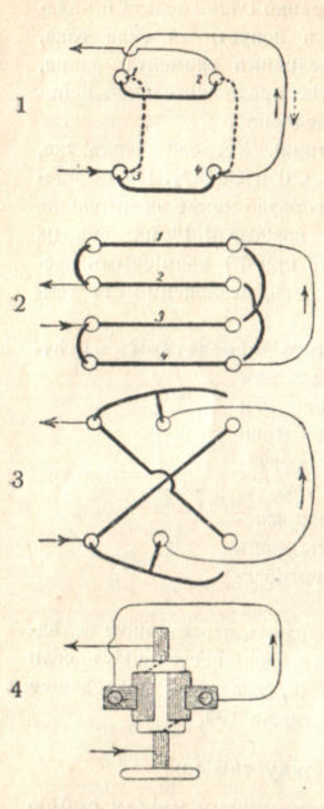
Простое соприкосновеніе твердыхъ частей цѣпи между собою не даетъ вообще достаточнаго замыканія. Части, просто соприкасающіяся между собою, должны быть изъ платины. — Оси замыкателей и коммутаторовъ непремѣнно должны быть снабжены скользящими пружинами. — Даже при употребленіи винтовыхъ зажимовъ слѣдуетъ поддерживать соприкасающіяся поверхности блестящими и туго завинчивать винты.

Ртуть также обезпечиваетъ хорошее соединеніе, лишенное сопротивленія, но только въ томъ случаѣ, если металлы, соприкасающіеся съ нею (латунь, мѣдь, платина), амальгамированы. — О штепсельныхъ соединеніяхъ см. IV.

Коммутаторъ или переключатель тока

1. Всего проще — доска съ четырьмя чашечками со ртутью (чертежъ см. слѣд. стр.); пара металлическихъ дужекъ соединяетъ либо 1 съ 2, 3 съ 4, либо 1 съ 3, 2 съ 4. Къ 2 и 3 подводятъ проволоки отъ источника тока, къ 1 и 4 — концы цѣпи, по которой долженъ течь токъ.

2. Въ переключателѣ съ восьмю попарно соединенными чашечками съ ртутью къ средней, напримѣръ, парѣ можно присоединить батарею, къ крайней



парѣ — замыкающую цѣпь. Опусканіе мѣдныхъ дужекъ на лѣвую сторону соединяетъ 1 съ 2, 3 съ 4, на правую сторону — 1 съ 3 и 2 съ 4.

3. Проволоки отъ полюсовъ источника электродвижущей силы подводятся къ двумъ крестообразно соединеннымъ парамъ чашечекъ; перекладывая мѣдныя дужки, можно соединить каждый полюсъ либо съ одной, либо съ другой изъ двухъ чашечекъ, изъ которыхъ исходитъ цѣпь.

4. Въ цилиндрическомъ коммутаторѣ можно присоединить источникъ тока, напримѣръ, къ концамъ оси, а цѣпь — къ пружинамъ, скользящимъ по металлическимъ полуцилиндрамъ. Каждый полуциндръ соединенъ проводникомъ съ полуосью. Поворачиваніе на 180^0 коммутируетъ токъ. Безъ скользящихъ пружинъ этотъ ключъ не пригоденъ.

IV. Реостатическія сопротивленія

Реостаты служатъ для регулированія тока и для измѣренія сопротивленій. Ихъ проводящія части состоятъ, въ особенности, когда имѣется въ виду послѣдняя цѣль, изъ сплавовъ, проводимость которыхъ мало зависитъ отъ температуры. Манганинъ и константанъ почти не зависятъ отъ температуры, а сопротивленіе хорошихъ сортовъ нейзильбера возрастаетъ при нагрѣваніи на 1^0 на $\frac{1}{4000} - \frac{1}{3000}$. Ср. табл. 20.

Чтобы уменьшить самоиндукцію и внѣшнее магнитное дѣйствіе катушекъ, обороты наматываются наполовину влѣво, наполовину вправо, — по большей части способомъ бифилярнаго наматыванія; въ случаѣ же большихъ сопротивленій этотъ способъ приводитъ къ чрезмѣрному возрастанію электростатической емкости катушекъ, а потому ихъ въ этомъ случаѣ лучше наматывать слоями то въ одну, то въ другую сторону.

Въ штепсельныхъ реостатахъ сопротивленія, находящіяся между металлическими накладками, вводятся посредствомъ выниманія штепселей; каждый десятокъ подраздѣленъ на части 1, 2, 2, 5 или 1, 2, 3, 4. Въ реостатахъ съ вращающейся ручкой (Kurbelrheostaten) каждый десятокъ подраздѣленъ на 10 равныхъ частей, заключенныхъ между выступами, по которымъ скользитъ вращающійся контактъ; токъ входитъ черезъ кнопку „нуль" и выходитъ черезъ ручку; ср. стр. 219. — Удобно, если каждый десятокъ можно ввести отдѣльно, независимо отъ другихъ.

Штепселя слѣдуетъ брать только за ручку и предохранять ихъ конусъ отъ загрязненія. Вставлять ихъ надо не особенно туго, слегка повора-

чивая, и почаще чистить полотняной тряпочкой, которую можно смочить небольшимъ количествомъ керосина. Въ случаѣ, если реостатъ остается безъ употребленія болѣе или менѣе продолжительное время, слѣдуетъ штепселя вынуть.

Сильной нагрузки токомъ надо избѣгать вслѣдствіе того, что отъ нагрѣванія реостатъ портится. Допустимая сила тока зависитъ отъ толщины проволокъ и отъ устройства. — Сопротивленія для сильныхъ токовъ располагаются либо прямо въ воздухѣ, либо въ ваннѣ изъ масла или керосина.

81. Измѣреніе силы тока. Тангенсъ-буссоль (Пулье и В. Веберъ)

Методы измѣренія силы электрическаго тока распадаются на три группы, соотвѣтственно тремъ способамъ, которые можно положить въ основу опредѣленія единицы силы тока, называемой амперомъ (ср. также **80**, 1), именно:

1. 1 амперъ есть 1/10 часть Веберовской CGS-единицы. Измѣрительные приборы: тангенсъ-буссоль, гальванометръ, электродинамометръ, электродинамическіе вѣсы; **81 — 86**.

2. 1 амперъ есть токъ, отлагающій въ 1 *сек* 1·118 *мг* серебра. Измѣрительный приборъ — вольтаметръ; **87**.

3. 1 амперъ есть токъ, который возбуждается электродвижущей силой въ 1 вольтъ въ сопротивленіи 1 омъ. Измѣрительные приборы: нормальный элементъ и сопротивленіе; компенсаціонный приборъ; **88**.

Единица тока 1 CGS или 1 веберъ есть тотъ токъ, который производитъ магнитное дѣйствіе, равное единицѣ; это значитъ, что единица длины этого тока на единичный магнитный полюсъ (**1**, 19), помѣщенный на разстояніи 1 *см* по перпендикуляру, производитъ поперечную магнитную силу въ 1 дину (**1**, 7). Электромагнитная сила убываетъ пропорціонально квадрату разстоянія. Ср. **1**, 22.

Тангенсъ-буссоль состоитъ изъ значительныхъ размѣровъ круга, обтекаемаго токомъ, съ короткой магнитной стрѣлкой посрединѣ. Плоскость оборотовъ обмотки круга должна находиться въ магнитномъ меридіанѣ, т. е. совпадать съ неотклоненной стрѣлкой.

Если тангенсъ-буссоль, состоящая изъ n круговыхъ оборотовъ, радіусъ которыхъ, въ среднемъ, равенъ R *см*, въ мѣстѣ, гдѣ горизонтальная составляющая равна H (**73**; табл. 23), даетъ отклоненіе на уголъ α, то сила тока

$$i = \frac{RH}{2n\pi} \cdot \operatorname{tg}\alpha = C \cdot \operatorname{tg}\alpha \text{ CGS-единицъ или веберовъ.}$$

$C = RH/(2n\pi)$ есть переводный множитель для перехода къ электромагнитнымъ CGS-единицамъ. $\operatorname{tg}\alpha$ смотри въ табл. 31 или $\log\operatorname{tg}$ въ пятизначныхъ таблицахъ Бремикера.

Доказательство. Токъ i протекаетъ по длинѣ $n \cdot 2R\pi$ въ разстояніи R отъ короткой стрѣлки M. Онъ стремится поставить послѣднюю перпендикулярно къ плоскости оборотовъ и при отклоненіи стрѣлки на уголъ α производитъ на нее моментъ вращенія $i \cdot 2nR\pi/R^2 \cdot M\cos\alpha = i \cdot 2n\pi/R \cdot M\cos\alpha$. Возвращающій моментъ вращенія земного магнитизма есть $HM\sin\alpha$; ср. 1, Nr. 22 и 21. Приравнивая оба выраженія, получаемъ вышеприведенную формулу.

Формула выводится въ предположеніи, что длина стрѣлки и поперечное сѣченіе обмотки малы сравнительно съ радіусомъ; въ противномъ случаѣ въ переводный множитель вводится поправка, да и самый законъ тангенса становится не вполнѣ вѣрнымъ.

Такъ какъ токъ въ 1 амперъ есть десятая часть CGS-единицы, то переводный множитель C_a тангенсъ-буссоли, приводящій къ амперамъ, если R и H измѣрены въ единицахъ [*см г сек*], будетъ

$$C_a = 5\frac{RH}{n\pi}.$$

Отчеты дѣлаютъ по обоимъ концамъ стрѣлки и берутъ среднее; зеркальное стекло у буссоли служитъ для избѣжанія параллакса при отчетахъ.

Коммутаторъ (стр. 203). Лучше пускать токъ въ двухъ взаимно противоположныхъ направленіяхъ и брать среднее изъ отклоненій въ обѣ стороны; съ этой цѣлью предъ гальванометромъ включаютъ коммутаторъ. Этимъ способомъ не только удваивается точность, но и уничтожается зависимость отчетовъ отъ нулевой точки дѣленій и отъ нѣкоторой неточности установки въ меридіанѣ; послѣднее обстоятельство могло бы повести къ несимметричности отклоненій.

Опредѣленіе R. Измѣряютъ діаметръ масштабомъ, циркулемъ, рулеткой или компараторомъ, или же вычисляютъ радіусъ изъ длины l проволоки, образующей n оборотовъ, по формулѣ $R = l/(2n\pi)$.

Напряженіе земного магнитизма. H берутъ изъ табл. 23, разумѣется, если можно предположить, что нѣтъ мѣстныхъ магнитныхъ вліяній.

Примѣръ. Проволока длиною 1948·0 *см* дѣлаетъ 24 круговыхъ оборота. Значитъ, $R = 1948/(48 \cdot 3{\cdot}1416) = 12{\cdot}92$ *см*. Далѣе, пусть $H = 0{\cdot}1909$ (для $51{\cdot}5^0$ географической широты и $9{\cdot}9^0$ географической долготы къ востоку отъ Гринвича). Въ такомъ случаѣ сила тока, производящаго отклоненіе на уголъ α, равна, въ электромагнитной мѣрѣ,

$$\frac{12{\cdot}92 \cdot 0{\cdot}1909}{2 \cdot 24 \cdot 3{\cdot}1416}\operatorname{tg}\alpha = 0{\cdot}01636 \cdot \operatorname{tg}\alpha \text{ CGS (веберовъ)} \quad \text{или} = 0{\cdot}1636 \cdot \operatorname{tg}\alpha \text{ ампера.}$$

Соединительныя проволоки. Чтобы токъ во внѣшнихъ проводникахъ не дѣйствовалъ на стрѣлку, приводящія и уводящія токъ проволоки вездѣ проводятся рядомъ, какъ можно ближе другъ къ другу, или скручиваются вмѣстѣ.

Для успокоенія стрѣлки можетъ служить маленькій магнитъ, который, по минованіи надобности, слѣдуетъ удалить на достаточное разстояніе; для той же цѣли можно пользоваться также коммутаторомъ. При обращеніи тока сначала производятъ только размыканіе и замыкаютъ вновь лишь тогда, когда стрѣлка, сдѣлавъ размахъ въ другую сторону, начнетъ двигаться обратно.

Наивыгоднѣйшее отклоненіе. Ошибка въ $0{\cdot}1^0$ даетъ (ср. стр. 25)

при отклоненіи	5	10	15	20	30	40^0
	85	80	75	70	60	50^0
ошибку въ результатѣ въ	2	1	0·7	0·54	0·4	0·35%

Слѣдовательно, и слишкомъ малыя и слишкомъ большія отклоненія не выгодны въ смыслѣ точности. Для значительно разнящихся другъ отъ друга силъ тока слѣдуетъ поэтому примѣнять обмотки различныхъ радіусовъ или съ различнымъ числомъ оборотовъ. Или же обмотки слѣдуетъ устраивать такъ, чтобы можно было ввести большее или меньшее число оборотовъ. Если намотано нѣсколько одинаковыхъ кусковъ проволоки и приспособлено такъ, что можно включать всѣ обороты послѣдовательно, или же n группъ оборотовъ параллельно, то переводный множитель въ послѣднемъ случаѣ въ n разъ больше, чѣмъ въ первомъ.

Относительныя измѣренія. Для нѣкоторыхъ цѣлей достаточно бываетъ знать лишь отношенія силъ тока. Два тока относятся между собою, какъ тангенсы ихъ угловъ отклоненія:

$$i : i' = \operatorname{tg} \alpha : \operatorname{tg} \alpha'.$$

Уклоненіе отъ закона тангенса уменьшается въ томъ случаѣ, если стрѣлка находится на разстояніи $\frac{1}{2} R$ въ сторонѣ отъ пути тока.

82. Синусъ-буссоль (Пулье)

Синусъ-буссоль служитъ только для относительныхъ измѣреній, и вслѣдствіе сложности наблюденія употребляется гораздо рѣже.

Поворачивая мультипликаторъ вслѣдъ за стрѣлкой, добиваются того, чтобы ихъ относительное положеніе было такое же, какъ и до пропусканія тока; въ этомъ случаѣ и мультипликаторъ и стрѣлка отклонены на уголъ α. Теперь, очевидно,

$$i = C \,.\, \sin \alpha.$$

Такъ какъ наибольшее значеніе синуса есть 1, то предѣлы примѣнимости инструмента оказываются узкими. Если при стрѣлкѣ есть вертикальныя дѣленія, то можно измѣрять болѣе сильные токи при наклонномъ положеніи стрѣлки (напримѣръ, на 45^0 или 70^0). Чтобы опредѣлить переводный множитель для сравненія показаній при раз-

личномъ наклоненіи, измѣряютъ отклоненія α_1 и α_2, производимыя однимъ и тѣмъ же токомъ при тѣхъ двухъ наклоненіяхъ, которыя требуется сравнить. Тогда $p = \sin\alpha_1 / \sin\alpha_2$ представитъ собою искомый множитель.

О сходномъ крутильномъ гальванометрѣ см. **103**.

83. Зеркальный гальванометръ

Установку отчитываютъ или по способу трубы и шкалы или объективно, съ помощью движущагося зайчика, отбрасываемаго зеркаломъ (**25**). О гальванометрахъ со стрѣлкой и съ вращающейся катушкой, а также объ употребительныхъ формахъ ихъ см. слѣд. стр.

Для малыхъ отклоненій, измѣряемыхъ зеркаломъ и шкалой (**25**), вплоть до отклоненій въ нѣсколько градусовъ, токъ приблизительно пропорціоналенъ углу отклоненія α или перемѣщенію e, измѣренному въ дѣленіяхъ шкалы; слѣдовательно, $i = C \,.\, \alpha$ или $= C/(2A) \,.\, e$, гдѣ A разстояніе шкалы. Для постояннаго разстоянія шкалы справедлива, слѣдовательно, формула

$$i = \mathfrak{C} \,.\, e.$$

Объ опредѣленіи переводнаго множителя $\mathfrak{C}$ въ абсолютной мѣрѣ ср. **89**, о коммутаторѣ и соединительныхъ проволокахъ стр. 206.

Въ какихъ предѣлахъ можно принять пропорціональность, — зависитъ отъ формы прибора. Для рѣшенія этого вопроса и для опредѣленія, въ случаѣ надобности, поправокъ, которыя слѣдуетъ внести въ отчеты, чтобы послѣдніе сдѣлались пропорціональными силѣ тока, производятъ различныя отклоненія (приблизительно 100, 200 и т. д. *мм*), замыкая одну и ту же постоянную цѣпь (аккумуляторъ, Даніэль) черезъ гальванометръ и различныя сопротивленія изъ реостата. Сила тока обратно пропорціональна полному сопротивленію (цѣпь + гальванометръ + реостатъ). Но при градуированіи чувствительныхъ инструментовъ изъ реостата приходится брать столь значительныя сопротивленія, что два первыя слагаемыя часто можно совершенно не принимать во вниманіе или, по крайней мѣрѣ, достаточно ихъ знать лишь приблизительно. — Затѣмъ наносятъ на графикѣ силы тока, какъ абсциссы, отчеты — какъ ординаты (**8**); отклоненія получаемой кривой отъ прямой линіи даютъ поправки, которыя слѣдуетъ вносить въ отчеты по шкалѣ. Ср. также **89**.

Астазированіе стрѣлки гальванометра извнѣ. Чтобы повысить чувствительность, уменьшаютъ направляющую силу земного матнитизма.

Этого можно достигнуть съ помощью астазирующаго магнита, который находится обыкновенно надъ или подъ стрѣлкой, сѣвернымъ концомъ къ сѣверу и можетъ быть установленъ на различныхъ разстояніяхъ отъ нея. Той же цѣли можно достигнуть при помощи магнита, положеннаго гдѣ-нибудь въ сторонѣ. Колебанія земного магнитизма проявляются, конечно, тѣмъ сильнѣе, чѣмъ выше чувствительность.

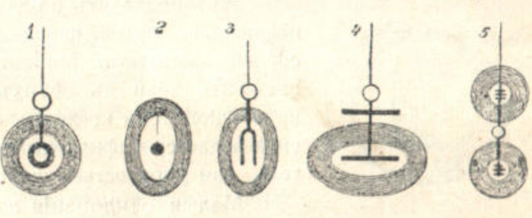
Можно примѣнять магнитъ и съ противоположной цѣлью: для того, чтобы приборъ слишкомъ чувствительный сдѣлать менѣе чувствительнымъ.

З е р к а л ь н ы я б у с с о л и с ъ п о д в и ж н ы м и м у л ь т и п л и к а т о р а м и градуируются опытнымъ путемъ. Сравниваютъ отклоненія отъ одного и того же тока при нѣсколькихъ установкахъ мультипликатора на масштабѣ и изображаютъ отклоненія графически **(8)**.

Объ измѣреніи сильныхъ токовъ помощью отвѣтвленія см. **86.**

Формы зеркальныхъ гальванометровъ

Гальванометры со стрѣлкой. Нѣкоторыя употребительныя формы изображены здѣсь схематически. Въ наиболѣе чувствительныхъ инструментахъ зеркальный способъ отчета примѣняется наряду съ двойной стрѣлкой, заключенной въ двойномъ мультипликаторѣ (чертежъ 5), причемъ такая стрѣлка иногда астазируется еще и снаружи. Астатическую систему нельзя подвергать дѣйствію сильныхъ токовъ, не рискуя нарушить постоянства чувствительности прибора.



Гальванометры съ вращающейся катушкой. Все болѣе и болѣе частое примѣненіе получаютъ гальванометры, содержащіе, въ противоположность обыкновеннымъ, катушку, способную вращаться въ магнитномъ полѣ (часто они называются гальванометрами Депре-д'Арсонваля). Обороты неотклоненной катушки должны совпадать съ силовыми линіями. Токъ i испытываетъ тогда отклоняющій моментъ вращенія $= i \cdot f\mathfrak{H}$, если f означаетъ площадь катушки, а $\mathfrak{H}$ напряженіе поля. См. чертежъ ниже.

Чувствительность инструментовъ обусловливается сильнымъ полемъ между полюсами подковообразнаго магнита; часто внутри катушки находится еще неподвижный цилиндръ изъ мягкаго желѣза (чертежъ). Направляющей силой D катушки служитъ упругость пружинъ или проволокъ, служащихъ для подвѣшиванія катушки и въ то же время для подвода тока. Ч у в с т в и т е л ь н о с т ь прямо пропорціональна f и $\mathfrak{H}$ и обратно пропорціональна D; пропорціональность отчета силѣ тока достигается соотвѣтствующей формой полюсовъ магнита. — Источникомъ ошибокъ въ показаніяхъ прибора въ болѣе

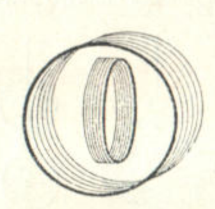
старыхъ инструментахъ является упругое послѣдѣйствіе проволоки, служащей для подвѣшиванія, а также — что весьма возможно — неправильное закрѣпленіе этой проволоки посредствомъ клеммъ.

Внѣшнія магнитныя возмущенія почти совсѣмъ не оказываютъ вліянія на эти инструменты.

Демфированіе (успокоеніе) происходитъ, благодаря токамъ, индуцированнымъ (**94**) въ металлической рамочкѣ катушки. Однако въ замкнутомъ состояніи катушка демфируется также токами, наведенными въ ней самой; это обстоятельство ставитъ предѣлъ чувствительности прибора, такъ какъ демфированіе возрастаетъ, наконецъ, до того, что приборъ становится непримѣнимымъ. Поэтому при чувствительныхъ инструментахъ разъ навсегда включается (послѣдовательно) балластное сопротивленіе.

Баллистическій гальванометръ (напримѣръ, чертежъ 4 пред. стр.). Колебанія въ немъ должны быть достаточно медленны для того, чтобы можно было измѣрить отклоненія движущейся стрѣлки и періоды колебанія. О градуированіи, теоріи и примѣненіи инструмента см. **106—110** и **94**.

84. Электродинамометръ (В. Веберъ)



Токъ проходитъ по двумъ катушкамъ — одной неподвижной, другой, перпендикулярной къ первой, способной вращаться. Моментъ вращенія, стремящійся поставить токи въ обѣихъ катушкахъ параллельно, пропорціоналенъ квадрату силы тока. Направляющая сила задается бифилярнымъ подвѣсомъ, приводящимъ токъ, или упругостью крученія подвѣсной проволоки.

Малыя отклоненія e подвижной катушки, измѣряемыя зеркаломъ и шкалой, пропорціональны квадрату силы тока i, слѣдовательно,

$$i = \mathfrak{C} \cdot \sqrt{e},$$

гдѣ $\mathfrak{C}$ множитель для даннаго инструмента (**89**).

Въ болѣе широкихъ предѣлахъ оказывается примѣнимымъ динамометръ съ приведеніемъ къ нулю; сила тока въ немъ опредѣляется по углу φ, на который надо закрутить подвѣсную нить, чтобы при помощи вращающейся головки привести къ нулю отклоненную катушку. Сила тока будетъ $i = \mathfrak{C}\sqrt{\varphi}$.

Ось подвижной катушки должна стоять по направленію съ сѣвера на югъ, чтобы земной магнитизмъ на нее не дѣйствововалъ.

Объ опредѣленіи и контролированіи $\mathfrak{C}$ см. **89**.

Особенность динамометра, сравнительно съ гальванометромъ, состоитъ въ томъ, что направленіе отклоненія не зависитъ отъ направленія тока.

Перемѣнные токи. Мощность тока; эффективная сила тока. Въ силу только-что упомянутаго обстоятельства, динамометръ чаще всего примѣняется къ перемѣннымъ токамъ, т. е. такимъ, которые, имѣя въ отдѣльности одинаковую интегральную силу тока, слѣдуютъ другъ за другомъ то въ одномъ, то въ другомъ направленіи. Отклоненіе динамометра измѣряетъ среднюю мощность тока, т. е. энергію тока въ единицу времени, такъ какъ мощность въ каждый моментъ пропорціональна квадрату силы тока. Говорятъ также: квадратный корень изъ отклоненія динамометра пропорціоналенъ эффективной силѣ тока.

При перемѣнныхъ токахъ слѣдуетъ принимать во вниманіе самоиндукцію катушекъ. Въ особенности распредѣленіе тока между инструментомъ и отвѣтвленіемъ (**86**) при быстро-перемѣнныхъ токахъ можетъ сильно разниться отъ вычисленнаго по сопротивленіямъ.

Далѣе, слѣдуетъ имѣть въ виду, что, если катушки не въ точности перпендикулярны между собой, то перемѣнные токи одной катушки оказываютъ индуктирующее дѣйствіе на другую. Чтобы испытать перпендикулярность, пропускаютъ перемѣнные токи только черезъ внѣшнюю катушку, въ то время какъ внутренняя замкнута сама на себя. Послѣдняя при этомъ не должна отклоняться.

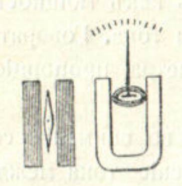
Электродинамическіе вѣсы

Къ динамометрамъ слѣдуетъ причислить также приборы, состоящіе изъ катушки, прикрѣпленной къ коромыслу вѣсовъ и находящейся подъ дѣйствіемъ неподвижной катушки; черезъ обѣ катушки пропускаютъ одинъ и тотъ же токъ (Рэлей, Гельмгольцъ, Кельвинъ). Сила, измѣряемая накладными или передвижными грузами, здѣсь также пропорціональна квадрату силы тока или мощности тока.

Сюда же принадлежитъ неподвижная, обтекаемая токомъ катушка (чертежъ стр. 212), намагничивающая подвижной кусокъ мягкаго желѣза и оказывающая на него извѣстное силовое дѣйствіе, напримѣръ, втягивающая его въ себя. Для токовъ средней силы магнитизмъ пропорціоналенъ силѣ тока, и такъ какъ движущая сила пропорціональна намагниченію и силѣ тока, то перемѣщеніе приблизительно пропорціонально квадрату силы тока. Поэтому въ извѣстныхъ предѣлахъ эти инструменты можно примѣнять для приблизительнаго измѣренія мощности тока.

Наконецъ, инструменты съ нагрѣваніемъ проволоки (Hitzdrahtinstrumente), отклоненіе которыхъ приблизительно пропорціонально выдѣленію тепла, зависящему отъ квадрата силы тока, измѣряютъ также мощность тока.

85. Различныя формы указателей тока

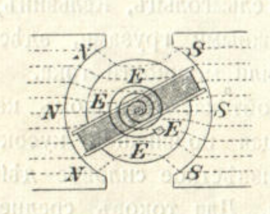


Гальванометры со стрѣлкой и шкалой могутъ состоять, подобно тангенсъ-буссоли, изъ неподвижнаго мультипликатора и магнитной стрѣлки. Болѣе старые инструменты имѣютъ по большей части именно такую форму. Чувствительность обратно пропорціональна напряженію магнитнаго поля; въ инструментахъ, предназначенныхъ для сильныхъ токовъ, поле задается поэтому близко находящимися магнитными полюсами (2-ой чертежъ).— Если стрѣлка движется въ вертикальной плоскости, то чувствительность уменьшается еще и отъ силы тяжести.— Во всякомъ случаѣ, неотклоненная стрѣлка должна быть параллельна оборотамъ.

Зависимость отклоненія отъ силы тока для разныхъ формъ прибора различна и часто предоставляетъ довольно сложную функцію, такъ что по отклоненію можно лишь приблизительно судить о силѣ тока; для цѣлаго ряда приложеній этого однако бываетъ достаточно. Дѣленія, дающія силу тока, должны быть нанесены и испытаны эмпирически (**89**).

Во многихъ указателяхъ тока примѣняется подвижной кусокъ мягкаго желѣза, который намагничивается и приводится въ движеніе токомъ. Шкала здѣсь гораздо менѣе равномѣрна, такъ какъ движущая сила пропорціональна произведенію изъ силы тока и намагниченія, а послѣднее само возрастаетъ съ увеличеніемъ силы тока. Отчетъ производится по стрѣлкѣ или прямо по желѣзному стержню, втягивающемуся въ катушку (чертежъ).

Указатель тока (ампер-вольтметръ) Вестона; ср. **83**, вращающаяся катушка. Инструменты этого рода все болѣе и болѣе пріобрѣтаютъ себѣ права гражданства. Въ сильномъ магнитномъ полѣ на остріяхъ вращается катушка. Упругая пружина даетъ направляющую силу, устанавливающую катушку такъ, чтобы при отсутствіи тока обороты ея стояли параллельно силовымъ линіямъ. Токъ же испытываетъ моментъ вращенія, стремящійся поставить обороты перпендикулярно къ силовымъ линіямъ. Магнитные полюсы въ формѣ полуцилиндровъ и неподвижный желѣзный цилиндръ E внутри катушки, направляющій силовыя линіи въ промежуточномъ воздушномъ пространствѣ почти радіально (чертежъ представляетъ видъ сверху), способствуютъ тому, чтобы отклоненіе возрастало почти равномѣрно съ увеличеніемъ силы тока.



Чувствительность ceteris paribus пропорціональна силѣ поля. Объ измѣненіи значеній шкалы по способу отвѣтвленія см. **86**. — Инструментъ слѣдуетъ охранять отъ сильныхъ внѣшнихъ магнитныхъ вліяній.

86. Измѣненіе постоянной гальванометра посредствомъ параллельныхъ замыканій

Нижеслѣдующія замѣчанія имѣютъ значеніе для всякихъ гальванометровъ. Если инструментъ слишкомъ чувствителенъ для тѣхъ токовъ, которые требуется измѣрить, то часть тока пропускаютъ черезъ постоянное сопротивленіе, введенное параллельно, и такимъ образомъ направляютъ ее помимо гальванометра.

Всякую силу тока, непосредственно получаемую изъ отчета по инструменту, для нахожденія полнаго тока нужно будетъ умножить на постоянный „множитель отвѣтвленія" a, который получается изъ сопротивленія обмотки гальванометра γ и изъ сопротивленія параллельно включеннаго проводника z (доказательство въ примѣрѣ 1, стр. 201):

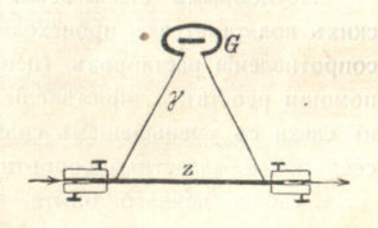
$$a = (z + \gamma)/z \quad \text{или} \quad = 1 + \gamma/z.$$

Вычисленіе всего проще при $z = \frac{1}{9}\gamma$ или $\frac{1}{99}\gamma$ и т. д., ибо тогда $a = 10$, 100 и т. д.

Такія отвѣтвленія часто, напримѣръ, прямо соединены съ Вестоновскими измѣрителями тока. Если безъ отвѣтвленія получается отчетъ, скажемъ, 0·01 ампера, то при отвѣтвленіи въ $\frac{1}{9}$ тотъ же отчетъ означаетъ 0·1 ампера, а при $\frac{1}{99}$ — цѣлый амперъ.

Металлъ отвѣтвленія не долженъ измѣнять своего сопротивленія съ температурой (табл. 20) или долженъ быть настолько толстымъ, чтобы нагрѣваніе токомъ не достигало вредныхъ размѣровъ.

Отвѣтвленія съ малымъ сопротивленіемъ слѣдуетъ включать въ цѣпь такъ, чтобы сопротивленія въ мѣстахъ соединеній (ср. **80** III) не вредили дѣлу; напримѣръ, такъ, какъ показано здѣсь на чертежѣ. Чтобы не потребовалось слишкомъ малаго сопротивленія z, къ гальванометру можно присоединить балластное сопротивленіе, которое тогда входитъ въ составъ γ.



Прилагаемый чертежъ показываетъ, какъ изъ одного и того же реостата R можно взять и отвѣтвленіе и балластъ.



87. Электролитическое измѣреніе тока. Вольтаметръ

Токъ въ 1 амперъ отлагаетъ изъ раствора серебряной соли въ 1 *сек* 1·118 *мг* серебра. По закону Фарадея, массы іоновъ, переносящія данное количество электричества, пропорціональны химическимъ эквивалентамъ этихъ іоновъ; химическій же эквивалентъ (принимая атомный вѣсъ $O = 16{\cdot}00$; табл. 24) составляетъ для Ag 107·93, для H 1·008, для двувалентныхъ іоновъ O $\frac{1}{2} \cdot 16{\cdot}00 = 8{\cdot}00$ и Cu $\frac{1}{2} \cdot 63{\cdot}6 = 31{\cdot}8$. Отсюда получаются „электрохимическіе эквиваленты", т. е. массы, отлагаемыя количествомъ электричества 1 амперъ-секунда или 1 кулонъ (въ нижеслѣдующемъ эти массы обозначаются черезъ E):

1·118 *мг* серебра, 0·3294 *мг* мѣди, 0·01044 *мг* водорода,
0·08287 *мг* кислорода;

слѣдовательно, количество разложенной воды будетъ 0·0933 *мг*; при 0^0 и 760 *мм* давленія оно образуетъ 0·1740 $см^3$ гремучаго газа.

Пусть измѣряемый токъ i проходилъ черезъ жидкость въ теченіе времени τ; разложенная имъ масса пусть будетъ m. Тогда сила тока (объ E см. выше)

$$i = \frac{1}{E}\frac{m}{\tau} \text{ амперъ} \quad \text{или} \quad = \frac{1}{10E}\frac{m}{\tau} \text{ CGS-единицъ.}$$

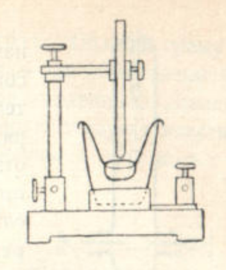
Измѣреніе тока вольтаметромъ служитъ главнымъ образомъ для того, чтобы проградуировать шкалу инструмента, измѣряющаго токъ. Въ качествѣ задачи для упражненія можно опредѣлять и самый электрохимическій эквивалентъ, измѣряя токъ въ абсолютной мѣрѣ посредствомъ тангенсъ-буссоли (**81**), введенной въ ту же цѣпь, что и вольтаметръ.

Неудобнымъ оказывается непостоянство тока, въ металлическихъ вольтаметрахъ происходящее въ особенности отъ измѣненія сопротивленія растворовъ (исправляется въ случаѣ надобности при помощи реостата); примѣненіе большихъ электродвижущихъ силъ, въ связи съ уменьшеніемъ силы тока до желательной величины посредствомъ балластнаго сопротивленія, уменьшаетъ это непостоянство.

Условія даннаго опыта, при которыхъ получается требуемая сила тока, слѣдуетъ испытать прежде, чѣмъ приступать къ измѣренію.

I. Серебряный вольтаметръ

15—30% растворъ азотнокислаго серебра (ляписа), удѣльнаго вѣса 1·14—1·33, съ серебрянымъ анодомъ. Взвѣшивается осадокъ на катодѣ. Удобная форма катода—серебряный или платиновый



тигель; стерженекъ изъ чистаго серебра служитъ анодомъ. Чтобы помѣшать частичкамъ падать съ анода, лучше всего подвѣшивать внутри вольтаметра стеклянную чашечку. Осадокъ промываютъ сначала въ горячей, потомъ въ холодной дестиллированной водѣ, пока холодная промывная вода не перестанетъ давать реакціи съ соляной кислотой, затѣмъ высушиваютъ, слегка подогрѣвая, и минутъ черезъ 10 по охлажденіи взвѣшиваютъ. При сильномъ токѣ площадь катода должна быть велика, такъ какъ въ противномъ случаѣ серебряныя нити, прорастающія по направленію къ аноду, портятъ измѣреніе.

II. Мѣдный вольтаметръ

Въ особенности примѣнимъ для сильныхъ токовъ.

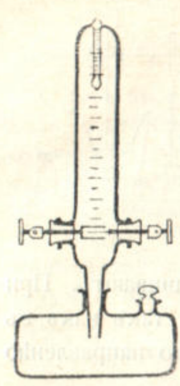
Берется почти насыщенный растворъ чистаго мѣднаго купороса въ дестиллированной водѣ: приблизительно 10 *г* кристаллической соли растворяютъ въ 50 *см*³ воды; удѣльный вѣсъ приблизительно 1·1. Анодъ изъ чистой мѣди; катодъ изъ мѣди или платины. Измѣряется опять-таки приращеніе вѣса катода; послѣдній споласкивается водою и быстро просушивается между пропускной бумагой, а затѣмъ, если можно, подъ колоколомъ воздушнаго насоса или въ эксикаторѣ.

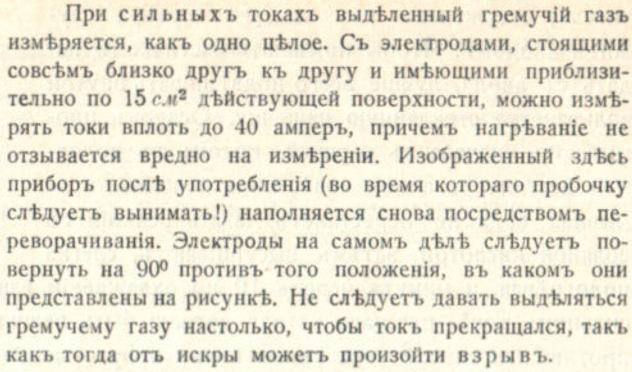
Величина электродовъ должна соотвѣтствовать силѣ тока. Чтобы осадокъ получился плотный, плотность тока на катодѣ не должна превышать, приблизительно, 1 ампера на 25 *см*².

III. Водяной вольтаметръ

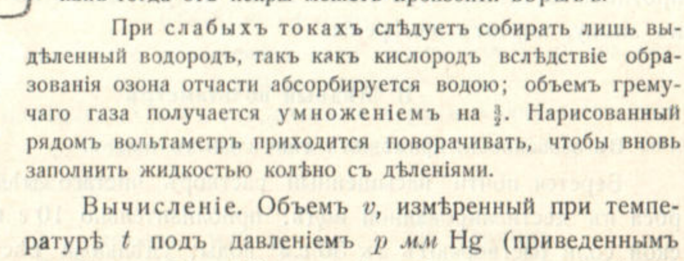
Такъ какъ никакихъ взвѣшиваній здѣсь не требуется, то работать съ этимъ вольтаметромъ удобнѣе, чѣмъ съ предыдущими, и при умѣломъ обращеніи онъ даетъ точность до нѣсколькихъ тысячныхъ долей.

10—20% растворъ чистой сѣрной кислоты (удѣльный вѣсъ 1·07—1·14) разлагается между чистыми платиновыми электродами. Такъ какъ электродвижущая сила поляризаціи при выдѣленіи водорода и кислорода на платинѣ составляетъ почти 3 вольта, то для разложенія требуется по меньшей мѣрѣ 3 элемента Даніэля или 2 Бунзеновскихъ, или же 2 аккумулятора.





При **сильныхъ** токахъ выдѣленный гремучій газъ измѣряется, какъ одно цѣлое. Съ электродами, стоящими совсѣмъ близко другъ къ другу и имѣющими приблизительно по 15 *см²* дѣйствующей поверхности, можно измѣрять токи вплоть до 40 амперъ, причемъ нагрѣваніе не отзывается вредно на измѣреніи. Изображенный здѣсь приборъ послѣ употребленія (во время котораго пробочку слѣдуетъ вынимать!) наполняется снова посредствомъ переворачиванія. Электроды на самомъ дѣлѣ слѣдуетъ повернуть на 90^0 противъ того положенія, въ какомъ они представлены на рисункѣ. Не слѣдуетъ давать выдѣляться гремучему газу настолько, чтобы токъ прекращался, такъ какъ тогда отъ искры можетъ произойти **взрывъ**.



При **слабыхъ токахъ** слѣдуетъ собирать лишь выдѣленный водородъ, такъ какъ кислородъ вслѣдствіе образованія озона отчасти абсорбируется водою; объемъ гремучаго газа получается **умноженіемъ** на $\frac{3}{2}$. Нарисованный рядомъ вольтаметръ приходится поворачивать, чтобы вновь заполнить жидкостью колѣно съ дѣленіями.

Вычисленіе. Объемъ v, измѣренный при температурѣ t подъ давленіемъ p *мм* Hg (приведеннымъ къ 0^0), при 0^0 и 760 *мм* имѣлъ бы величину (табл. 7)

$$v_0 = \frac{v}{1 + 0{\cdot}00367\,t} \cdot \frac{p}{760}.$$

Давленіе ртутнаго столба, подъ которымъ находится газъ, равно высотѣ барометра b, за вычетомъ перечисленной на ртуть высоты h столба сѣрной кислоты, т. е. достаточной точности можно достигнуть, вычитая $h \,.\, 1{\cdot}1/13{\cdot}6 = \frac{1}{12}h$. Высоту h измѣряютъ отъ руки посредствомъ масштаба. Но изъ давленія $b - \frac{1}{12}h$ нужно еще вычесть давленіе водяного пара, составляющее надъ нашей сѣрной кислотой около $^9/_{10}$ упругости насыщеннаго надъ водою пара, т. е. $0{\cdot}9\,e$, причемъ e берется для температуры t изъ табл. 13. Итакъ, $p = b - \frac{1}{12}h - 0{\cdot}9\,e$. (Если бы, допустимъ, въ приборѣ, изображенномъ на второмъ чертежѣ, жидкость снаружи стояла выше, чѣмъ внутри, то, разумѣется, слѣдуетъ взять $+\frac{1}{12}h$).

Наконецъ, вычисляютъ силу тока i, зная, что разложеніе продолжалось τ *сек* (см. начало параграфа):

$$i = \frac{1}{0{\cdot}1740}\frac{v_0}{\tau} \quad \text{или} \quad = 5{\cdot}75\,\frac{v_0}{\tau} \text{ амперъ.}$$

Удобная таблица для 15—20% сѣрной кислоты. Объемъ гремучаго газа, выдѣляемый токомъ 1 амперъ въ 1 *сек*, занимаетъ при обыкновенной температурѣ около $\frac{1}{5}$ *см*³. Слѣдующая таблица даетъ для различныхъ давленій p' (т. е. $b - \frac{1}{12}h$) и температуръ t ту поправку, которую слѣдуетъ внести въ измѣренный объемъ, чтобы съ полученнымъ исправленнымъ объемомъ v производить вычисленіе силы тока по формулѣ

$$i = 5 \cdot \frac{v'}{\tau} \text{ амперъ.}$$

Пусть, напримѣръ, δ будетъ число, взятое изъ таблицы для p и t; тогда придется положить $v' = v(1+\delta)$.

t	$p' = 700$	710	720	730	740	750	760 *мм*
10⁰	+0·009	+·024	+·038	+·053	+·068	+·082	+·097
15⁰	− ·013	+·002	+·016	+·030	+·044	+·059	+·073
20⁰	− ·035	−·021	−·007	+·007	+·021	+·035	+·049
25⁰	− ·058	−·045	−·031	−·017	−·004	+·010	+·024

Примѣръ. $v = 198$ *см*³ гремучаго газа въ $\tau = 117$ *сек* при $t = 17{\cdot}7^0$ и $b = 754$ *мм*; столбъ жидкости (20% H_2SO_4) подъ уровнемъ газа $h = 110$ *мм*. Итакъ, давленіе влажнаго газа $p' = 754 - 110/12 = 745$ *мм* Hg. Упругость насыщеннаго водяного пара при $17{\cdot}7^0$ (табл. 13) $e = 15{\cdot}1$; слѣдовательно, давленіе сухого газа $p = 745 - 0{\cdot}9 \,.\, 15{\cdot}1 = 731$ *мм*. Объемъ сухого гремучаго газа, приведенный къ 0⁰ и 760 *мм*, поэтому будетъ

$$v_0 = \frac{198}{1 + 0{\cdot}00367 \,.\, 17{\cdot}7} \cdot \frac{731}{760} = 178{\cdot}8 \text{ см}^3$$

и сила тока

$$i = \frac{1}{0{\cdot}1740} \; \frac{178{\cdot}8}{117} = 8{\cdot}78 \text{ ампера} = 0{\cdot}878 \text{ CGS или вебера.}$$

Или иначе: таблица даетъ для $p = 745$ *мм* при 15⁰ поправку $= +0{\cdot}051$, при $20^0 = +0{\cdot}028$, слѣдовательно, при $17{\cdot}7^0 = +0{\cdot}039$. Итакъ,

$$v' = 198 \,.\, 1{\cdot}039 = 205{\cdot}7 \quad \text{и} \quad i = 5 \,.\, 205{\cdot}7/117 = 8{\cdot}79 \text{ ампера.}$$

88. Измѣреніе тока компенсаціей нормальнаго элемента. Компенсаціонный приборъ

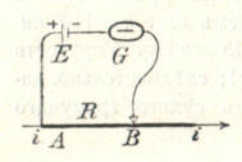
Вмѣсто того, чтобы непосредственно измѣрять силу тока (i), можно опредѣлить ее посредствомъ измѣренія сопротивленія (R) нѣкотораго участка цѣпи, на концахъ котораго существуетъ извѣстная разность напряженій (E). Тогда (80 I 4) $i = E/R$, причемъ i получается въ амперахъ, если E и R выражены въ вольтахъ и омахъ. Этотъ методъ часто примѣняется для точнаго измѣренія тока съ тѣхъ поръ, какъ въ формѣ нормальныхъ элементовъ (Кларкъ, Вестонъ, ср. стр. 202) мы располагаемъ точно опредѣленными напряженіями; самый способъ измѣренія состоитъ въ слѣдующемъ.

Пусть i (чертежъ на слѣд. стр.) изображаетъ измѣряемый токъ.

Нормальный элементъ E, вмѣстѣ съ гальваноскопомъ, присоединяютъ къ концамъ A и B нѣкотораго участка цѣпи, сопроти-

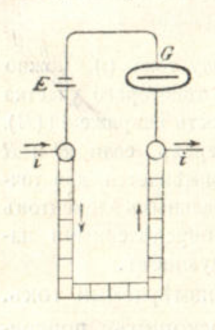
вленіе котораго можно регулировать любымъ, вполнѣ опредѣленнымъ образомъ; при этомъ элементъ располагаютъ такъ, чтобы онъ противодѣйствовалъ току, который возникъ бы въ отвѣтвленіи при отсутствіи элемента. Если (положительный) токъ вступаетъ въ этотъ участокъ въ точкѣ A, то (отрицательный) цинковый или кадміевый полюсъ элемента нужно, слѣдовательно, соединить съ точкой B. Теперь остается найти то сопротивленіе R, которое необходимо ввести между обѣими точками, чтобы свести на нѣтъ токъ въ гальваноскопѣ въ отвѣтвленіи. Тогда искомая сила тока въ главной цѣпи $i = E/R$, гдѣ E напряженіе (электродвижущая сила) нормальнаго элемента. Перемѣнное сопротивленіе R получаютъ посредствомъ скользящаго контакта или, при точныхъ измѣреніяхъ, посредствомъ реостата.

Примѣненіе скользящаго контакта. Пусть въ цѣпи тока находится голая проволока, сопротивленіе которой на каждую единицу длины извѣстно въ омахъ. Къ одному изъ концовъ проволоки и къ скользящему контакту присоединяютъ вышеописаннымъ образомъ нормальный элементъ и гальваноскопъ и ищутъ то положеніе контакта, при которомъ токъ исчезаетъ. Если назвать черезъ R сопротивленіе введеннаго при этомъ отрѣзка проволоки, то $i = E/R$.



Это слѣдуетъ непосредственно и изъ второго правила Кирхгофа (**80** I). Именно, для круга, заключающаго въ себѣ E и R, должно быть $iR = E$, ибо въ отвѣтвленіи токъ равенъ нулю.

Примѣненіе реостата. Пусть въ цѣпи измѣряемаго тока i находится реостатъ, къ концамъ котораго и присоединяется отвѣтвленіе съ E и G. Изъ реостата берутъ столько сопротивленія R, чтобы токъ въ G исчезъ; при этомъ опять $i = E/R$.

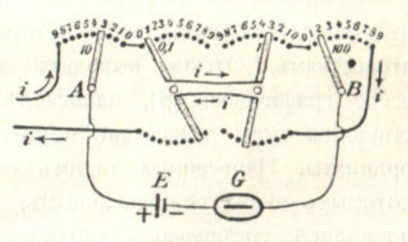


Здѣсь однако слѣдуетъ имѣть въ виду, что при введеніи R главный токъ также измѣняется. Чтобы этого не было, необходимо изъ главной цѣпи выключать каждый разъ столько сопротивленія, сколько вводится въ R; съ этой цѣлью въ главную цѣпь долженъ быть включенъ еще одинъ реостатъ.

Обычно примѣняется этотъ способъ при **испытаніи инструментовъ для измѣренія тока**. Въ этомъ случаѣ нѣтъ надобности поддерживать совершенно опредѣленныя силы тока, и потому въ главной цѣпи достаточно имѣть только одно сопротивленіе для регулировки силы тока.

Компенсаціонный приборъ. Приборы, спеціально предназначенные для измѣренія тока посредствомъ компенсаціи, автоматически сохраняютъ полное сопротивленіе постояннымъ; измѣненіе сопротивленія между точками развѣтвленія A и B достигается здѣсь передвиженіемъ вращающейся ручки, самыя же сопротивленія расположены десятками. Вмѣстѣ съ ручкой вращается ея продолженіе по другую сторону; продолженіе это изолировано отъ ручки и выключаетъ или включаетъ во внѣшнюю цѣпь то сопротивленіе, которое ручка включаетъ или выключаетъ между точками A и B (Фесснеръ). См. рисунокъ.

Рисунокъ показываетъ, какъ это дѣлается въ реостатѣ, состоящемъ, въ общемъ, изъ 999·9 ома, именно изъ 9 десятыхъ, единицъ, десятковъ и сотенъ. Отвѣтвленіе съ нормальнымъ элементомъ присоединено къ ручкамъ A и B, между которыми подходящей установкой четырехъ ручекъ можно ввести любое сопротивленіе отъ 0·1 до 999·9. Измѣряемый же токъ при этомъ все время течетъ черезъ сопротивленіе 999·9, потому что число единицъ или десятыхъ долей, выключаемое двойной ручкой сверху, само собой включается нижнимъ ея концомъ.



Примѣръ. Компенсаціонное сопротивленіе на рисункѣ составляетъ $R = 233·1$ ома. Пусть компенсирующій элементъ будетъ кадміевый нормальный элементъ (стр. 203), слѣдовательно, $E = 1·019$ вольта. Слѣдовательно, $i = E : R = 1·019 : 233·1 = 0·00437$ ампера.

Чтобы получать на компенсаціонномъ приборѣ силы тока или (согласно **100** III) напряженія безъ вычисленія, поступаютъ такъ: сначала устанавливаютъ въ немъ токъ i, выражаемый круглымъ числомъ, напримѣръ, 0·01 ампера, погасивъ токъ въ кадміевомъ элементѣ, приложенномъ къ 101·9 ома (съ помощью регулировочнаго реостата въ главной цѣпи). Для такихъ цѣлей сопротивленія въ 101·9 и въ 1019 ома часто добавляются къ прибору особо. Отъ этого тока i можно на компенсаціонномъ приборѣ отвѣтвлять любыя опредѣленныя напряженія $(i \cdot R)$, которыми (какъ указано на пред. стр.) можно пользоваться вмѣсто E для измѣренія силъ тока или (по **100** III) для измѣренія другихъ напряженій способомъ компенсаціи.

Когда требуется умѣренная точность, нормальнымъ элементомъ можетъ служить аккумуляторъ ($E = 2{\cdot}02$ вольта) или элементъ Даніэля ($E = 1{\cdot}1$ вольта). Въ этомъ случаѣ никакихъ трудностей не представляется. Употребляя же ртутные элементы (ср. стр. 202) съ цинкомъ (Кларкъ) или кадміемъ (Вестонъ), при подборѣ компенсирующаго сопротивленія слѣдуетъ имѣть въ виду, что эти элементы выносятъ, не измѣняя своей электродвижущей силы, лишь очень слабые токи. Подбирая сопротивленіе, необходимо поэтому включать въ цѣпь такого нормальнаго элемента значительное сопротивленіе и не удалять его до тѣхъ поръ, пока компенсація не будетъ почти достигнута.

89. Испытаніе прибора для измѣренія тока. Эмпирическое опредѣленіе переводнаго множителя

Задачи эти тождественны съ задачей — измѣрить силу тока въ цѣпи, въ которую вставленъ испытуемый приборъ; по существу онѣ, слѣдовательно, заключаются въ **81**, **87** и **88**.

Дѣленія на циферблатѣ измѣрителя тока провѣряютъ въ нѣсколькихъ точкахъ, число которыхъ должно соотвѣтствовать обстоятельствамъ. Отсюда выводятъ таблицу для всей шкалы — проще всего графически (**8**), нанося дѣленія, какъ абсциссы, а соотвѣтствующія силы тока или поправки къ отчетамъ силы тока, какъ ординаты. Нанесенныя такимъ образомъ на чертежѣ точки, ходъ которыхъ окажется правильнымъ, соединяютъ кривой, а на основаніи послѣдней составляютъ таблицу для каждаго дѣленія шкалы или черезъ каждыя 10 дѣленій, въ этомъ родѣ.

Если для даннаго инструмента извѣстенъ законъ, по которому отклоненіе возрастаетъ съ силою тока, то достаточно найти только переводный множитель $\mathfrak{C}$ — изъ одного лишь наблюденія отклоненія e при извѣстной силѣ тока i. Напримѣръ, для зеркальнаго гальванометра (**83**) $i = \mathfrak{C} \, . \, e$, слѣдовательно, $\mathfrak{C} = i/e$; для тангенсъ-гальванометра $i = \mathfrak{C} \operatorname{tg} \alpha$, откуда $\mathfrak{C} = i / \operatorname{tg} \alpha$; для динамометра $i = \mathfrak{C} \, . \, \sqrt{e}$, слѣдовательно, $\mathfrak{C} = i / \sqrt{e}$.

Для одного и того же зеркальнаго гальванометра $\mathfrak{C}$, конечно, обратно пропорціонально разстоянію шкалы A. Абсолютнымъ переводнымъ множителемъ $\mathfrak{F}$ называется множитель, дающій силу тока при умноженіи на отклоненіе φ, измѣренное въ абсолютной мѣрѣ (**1**, 3). Такъ какъ, по **25**, $\varphi = e/(2A)$, то $\mathfrak{F} = \mathfrak{C} \, . \, 2A$ или $\mathfrak{C} = \mathfrak{F}/(2A)$.

Отсюда опредѣляется $\mathfrak{C}$ для даннаго разстоянія шкалы, если $\mathfrak{F}$ измѣрено разъ навсегда.

Испытаніе посредствомъ нормальнаго инструмента приблизительно равной чувствительности

Включаютъ испытуемый и нормальный инструментъ вмѣстѣ съ реостатомъ въ цѣпь подходящей батареи и устанавливаютъ желательныя силы тока измѣненіемъ числа элементовъ и сопротивленія реостата.

Нормальнымъ инструментомъ, сильно отличающимся по чувствительности

Поступаютъ такъ же, съ тою только разницей, что болѣе чувствительный инструментъ снабжается отвѣтвленіемъ (**86**), дозволяющимъ протекать черезъ инструментъ лишь нѣкоторой извѣстной части тока. Эта часть составляетъ $z/(z+\gamma)$, если z сопротивленіе отвѣтвленія, γ отвѣтвленнаго гальванометра, причемъ въ γ входитъ сопротивленіе, включаемое, въ случаѣ надобности, послѣдовательно съ гальванометромъ. Показанія этого инструмента слѣдуетъ поэтому помножать на $\frac{z+\gamma}{z}$ или на $1+\frac{\gamma}{z}$ и затѣмъ уже сравнивать съ показаніями другого инструмента.

Съ помощью вольтаметра

Одинъ и тотъ же токъ заставляютъ въ теченіе опредѣленнаго времени протекать черезъ гальванометръ и вольтаметръ. Силу тока находятъ, какъ указано въ **87**. Такъ какъ токъ не постояненъ, то наблюдаютъ гальванометръ, напримѣръ, каждую минуту и окончательно берутъ среднее изъ отчетовъ.

Для сильныхъ токовъ подходитъ вольтаметръ мѣдный или съ гремучимъ газомъ (1-ый чертежъ стр. 216), для слабыхъ — серебряный или водородный (2-ой чертежъ стр. 216). При гальванометрѣ (но не при вольтаметрѣ!) можно сдѣлать отвѣтвленіе, какъ описано выше.

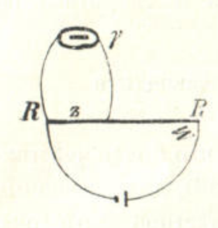
Съ помощью извѣстной электродвижущей силы

1. Непосредственно. Къ чувствительнымъ приборамъ, измѣряющимъ токъ, можно примѣнять очень простой и часто достаточный способъ, состоящій въ томъ, что образуютъ цѣпь изъ этого прибора, источника извѣстной электродвижушей силы (**80** II) (Даніэль,

аккумуляторъ, для чрезвычайно чувствительныхъ инструментовъ даже нормальные элементы) и изъ извѣстнаго сопротивленія. Если электродвижущая сила составляетъ E вольтъ, полное сопротивленіе w омовъ, то сила тока $i = E/w$ амперъ.

w состоитъ изъ включеннаго сопротивленія, гальванометра и элемента. Послѣднимъ слагаемымъ часто можно пренебречь.

Если въ распоряженіи нѣтъ достаточно большихъ сопротивленій, то гальванометръ присоединяютъ къ отвѣтвленію. Пусть сопротивленіе послѣдняго будетъ z; W полное сопротивленіе цѣпи за исключеніемъ вѣтви гальванометра, самый же гальванометръ пусть имѣетъ сопротивленіе γ; тогда (легко выводится изъ правилъ Кирхгофа; **80** I)



$$i = E \,.\, z / (W\gamma + Wz - z^2).$$

2. Компенсаціей. Этотъ способъ описанъ въ **88**, стр. 218.

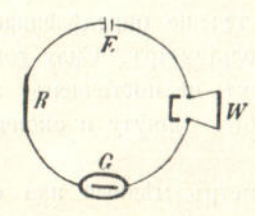
О баллистической постоянной прибора для измѣренія тока см. **106**.

90. Опредѣленіе сопротивленій посредствомъ замѣны

О единицахъ сопротивленія и реостатахъ см. **80** I и IV; о надежности соединеній **80** III.

Въ основаніи здѣсь лежитъ положеніе: сопротивленія равны, если они, будучи порознь введены въ одну и ту же цѣпь, даютъ одну и ту же силу тока.

Итакъ, составляютъ цѣпь [1]) изъ постояннаго элемента E (аккумуляторъ, Даніэль), указателя тока G и реостата R. Измѣряемое сопротивленіе W на рисункѣ изображено включеннымъ; но его можно выключать, напримѣръ, при помощи побочнаго замыканія, лишеннаго сопротивленія (обыкновенные замыкатели тока часто оказываются для этой цѣли неудовлетворительными). Сначала наблюдаютъ установку, когда W введено въ цѣпь,



---

[1]) При разсматриваніи схематическихъ рисунковъ слѣдуетъ представлять себѣ нижнюю сторону расположенной ближе къ наблюдателю, т. е. въ данномъ случаѣ ближе всего къ наблюдателю лежитъ гальванометръ со стрѣлкой, а R и W расположены такъ, чтобы быть подъ руками наблюдателя. – Овальные или круглые проводники съ магнитной стрѣлкой обозначаютъ указатели или измѣрители тока.

а реостатъ выключенъ (всѣ штепселя вставлены). Затѣмъ выключаютъ W; то сопротивленіе реостата, которое необходимо ввести, чтобы стрѣлка приняла прежнее положеніе, равно искомому сопротивленію W.

Если устройство реостата не позволяетъ вводить сопротивленія съ произвольно малыми промежутками, а лишь скачками, то прибѣгаютъ къ интерполированію (7). Наблюдаютъ установку стрѣлки при ближайшемъ меньшемъ и при ближайшемъ большемъ сопротивленіи реостата. Если разница незначительна, то можно допустить пропорціональность между увеличеніемъ сопротивленія и уменьшеніемъ отклоненія. Итакъ, если по стрѣлкѣ были сдѣланы отчеты:

α при искомомъ сопротивленіи W,

α_1 и α_2 при сопротивленіяхъ реостата R_1 и R_2,

то
$$W = R_1 + (R_2 - R_1)\,\frac{\alpha - \alpha_1}{\alpha_2 - \alpha_1}.$$

Примѣръ. Включено W $R_1 = 14$ $R_2 = 15$ омовъ
Установка стрѣлки $\alpha = 45{\cdot}3$ $\alpha_1 = 47{\cdot}9$ $\alpha_2 = 44{\cdot}5$;
тогда $W = 14 + 2{\cdot}6/3{\cdot}4 = 14{\cdot}76$ ома.

Этотъ методъ при не слишкомъ малыхъ сопротивленіяхъ даетъ посредственную точность. Незначительныя измѣненія элемента исключаются цѣлесообразнымъ повтореніемъ наблюденія и взятіемъ средняго; при быстромъ наблюденіи измѣненія эти также оказываются безвредными.

Если измѣряемое сопротивленіе мало, то стрѣлка можетъ быть отброшена за предѣлы шкалы. Можно помѣшать этому, включивъ часть реостата въ качествѣ постояннаго балласта; однако это вредитъ чувствительности метода. Лучше поэтому уменьшить отклоненія при помощи неподвижно установленнаго магнита, или же уменьшить электродвижущую силу по способу, указанному на чертежѣ стр. 203.

Развѣтленное соединеніе. Только что упомянутое препятствіе можно устранить также слѣдующимъ образомъ. Вмѣсто того, чтобы включать гальванометръ и сопротивленія въ одинъ и тотъ же токъ послѣдовательно, развѣтвляютъ токъ между ними, напримѣръ, такъ, какъ показано на прилагаемой схемѣ. Равенство отклоненій свидѣтельствуетъ, какъ и прежде, о равенствѣ замѣщающихъ другъ друга сопротивленій.

91. Опредѣленіе сопротивленій измѣреніемъ силы тока

I. Прямые способы

Nr. 2 имѣетъ значеніе скорѣе, какъ упражненіе въ примѣненіяхъ законовъ Ома, чѣмъ для пользованія на практикѣ.

1. Батарея извѣстной электродвижущей силы E замыкается измѣряемымъ сопротивленіемъ w и гальванометромъ, показывающимъ силу тока въ амперахъ. Если наблюдается токъ въ i амперъ, то E/i есть сопротивленіе W всей цѣпи въ омахъ; чтобы получить w, нужно вычесть изъ него сопротивленія гальванометра и батареи. При достаточно высокой чувствительности гальванометра этотъ способъ можно примѣнить къ измѣренію весьма большихъ сопротивленій; двумя другими сопротивленіями часто можно бываетъ при этомъ пренебречь.

Примѣръ. Аккумуляторъ ($E = 2{\cdot}02$ вольта, сопротивленіемъ можно пренебречь; ср. стр. 202), замкнутый Вестоновскимъ измѣрителемъ тока съ сопротивленіемъ 1·0 омъ и сопротивленіемъ w, далъ токъ въ 0·043 ампера. Отсюда $W = 2{\cdot}02/0{\cdot}043 - 1 = 46{\cdot}0$ омовъ.

2. „Способъ Ома". Здѣсь требуются лишь относительныя измѣренія тока. Сопротивленіе батарея + гальванометръ исключается. Постоянный элементъ замыкаютъ сначала только черезъ гальванометръ (въ случаѣ надобности вводится балластное сопротивленіе); пусть сила тока $= J$. Затѣмъ въ эту цѣпь включаютъ измѣряемое сопротивленіе w; сила тока $= i_0$. Наконецъ, вмѣсто w вставляютъ извѣстное сопротивленіе R; сила тока $= i$. Тогда

$$w = R\frac{J - i_0}{J - i}\,\frac{i}{i_0}.$$

J, i_0, i требуется знать лишь въ относительной мѣрѣ, т. е. опредѣлить ихъ посредствомъ угловъ отклоненія или ихъ тангенсовъ и т. д.

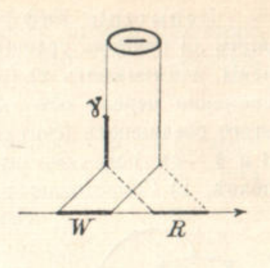
Формула вытекаетъ изъ равенствъ $E = J\gamma = i_0(\gamma + w) = i(\gamma + R)$.

II. Способъ, основанный на отвѣтвленіи

Такіе способы важны между прочимъ тогда, когда требуется опредѣлить сопротивленіе проводниковъ, измѣняющихся подъ дѣйствіемъ тока, напримѣръ, электрическихъ лампъ во время свѣченія. Затѣмъ, они цѣнны при сравненіи малыхъ сопротивленій.

Очень часто и съ хорошимъ результатомъ можно примѣнять слѣдующій пріемъ. Сравниваемыя сопротивленія W и R включаются въ цѣпь постояннаго тока послѣдовательно. Къ концамъ сперва одного, потомъ другого сопротивленія присоединяютъ вѣтвь, въ

которую включено весьма большое сопротивленіе и чувствительный гальванометръ или измѣритель напряженія (**100**). Если оба сравниваемыя сопротивленія весьма малы по отношенію къ сопротивленію вѣтви γ, то они относятся между собою, какъ силы тока (i_W и i_R) или напряженія въ присоединенныхъ къ нимъ отвѣтвленіяхъ.



Въ противномъ случаѣ достаточно i_W/i_R умножить на

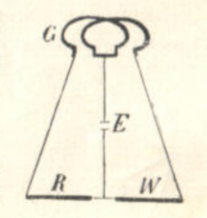
$$1 + R(i_W - i_R)/(\gamma\, i_R).$$

92. Дифференціальный гальванометръ

Методы **92** и **93** чувствительнѣе, чѣмъ предыдущіе, и не зависятъ отъ постоянства батареи.

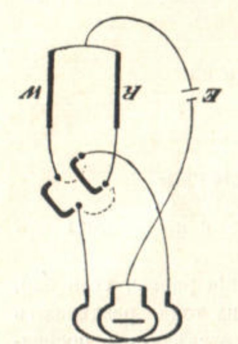
Здѣсь пользуются положеніемъ: два сопротивленія равны, если они, будучи введены, какъ двѣ параллельныя вѣтви, въ цѣпь тока, раздѣляютъ токъ на двѣ равныя части. Равенство того и другого изслѣдуется посредствомъ дифференціальнаго мультипликатора, состоящаго изъ двухъ навитыхъ вмѣстѣ проволокъ одинаковой длины. Если одновременно пропустить черезъ одну проволоку одинъ изъ токовъ, черезъ другую—другой въ противоположномъ направленіи, то при равенствѣ токовъ стрѣлка остается въ покоѣ.

Чертежъ показываетъ, какъ производятся соединенія при опредѣленіи сопротивленій. При G схематически изображены обѣ обмотки гальванометра съ ихъ концами (послѣдніе могутъ быть расположены и иначе; это слѣдуетъ выяснить испытаніемъ). У обоихъ среднихъ концовъ развѣтвляется токъ элемента E, такъ что развѣтвленные токи обходятъ обѣ обмотки въ противоположныхъ направленіяхъ. Отъ другихъ концовъ одинъ изъ развѣтвленныхъ токовъ пропускается черезъ измѣряемое сопротивленіе W, другой—черезъ реостатъ R, послѣ чего оба тока снова соединяются у другого полюса элемента. Соединительныя проволоки, ведущія къ W и R, выбираютъ съ одинаковымъ сопротивленіемъ.



Сопротивленіе реостата, которое слѣдуетъ включить, чтобы привести стрѣлку въ положеніе, занимаемое ею при отсутствіи тока, равно сопротивленію W. Если въ реостатѣ нѣтъ сопротивленія въ точности равнаго, то пользуются интерполяціоннымъ пріемомъ, описаннымъ на стр. 223.

Испытаніе дифференціальнаго гальванометра. 1) Удовлетворяетъ ли приборъ условію, что токи равны, когда стрѣлка не даетъ отклоненія, испытываютъ тѣмъ, что одинъ и тотъ же токъ пропускаютъ одновременно черезъ обѣ обмотки въ противоположныхъ направленіяхъ; для этого соединяютъ (считая слѣва направо) концы Nr. 1 и 2 между собою, а 3 и 4 — съ полюсами элемента. Стрѣлка при этомъ должна остаться въ покоѣ. 2) Сопротивленія обѣихъ обмотокъ должны быть равны (ибо эти сопротивленія присоединяются къ сравниваемымъ). Въ этомъ убѣждаются послѣ предыдущаго испытанія тѣмъ, что токъ элемента развѣтвляютъ въ обѣ обмотки по прежней схемѣ (тотъ же чертежъ), но только безъ включенія сопротивленій; стрѣлка опять должна остаться въ покоѣ.

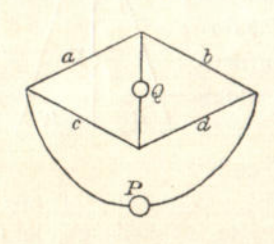


Коммутаторъ. Можно получить правильный результатъ независимо отъ точнаго выполненія этихъ условій, пользуясь коммутаторомъ, позволяющимъ замѣнять сопротивленія W и R другъ другомъ. W и R равны, если при замѣнѣ ихъ другъ другомъ установка стрѣлки не измѣняется. Или: если R есть реостатъ, и мы находимъ, что для неподвижности стрѣлки приходится включить R_1, а при переставленномъ коммутаторѣ R_2, то

$$W = \frac{1}{2}(R_1 + R_2).$$

93. Мостъ Витстона

Витстоновской комбинаціей проводниковъ называется развѣтвленіе тока по двумъ проводникамъ, между которыми установлено поперечное соединеніе, „мостъ"; такимъ образомъ получаются четыре „вѣтви" a, b, c, d. Пусть P означаетъ источникъ тока; тогда проводникъ, заключающій въ себѣ указатель тока Q, будетъ мостомъ. По немъ, вообще говоря, течетъ токъ, направленіе и сила котораго зависятъ отъ отношенія сопротивленій въ четырехъ вѣтвяхъ. Токъ въ мостѣ исчезаетъ лишь тогда, когда существуетъ пропорція



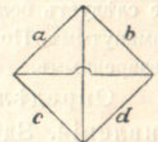
$$a : b = c : d.$$

Доказательство. Вообразимъ сначала, что проводника, образующаго мостъ, совсѣмъ нѣтъ. По каждому изъ двухъ путей напряженіе постепенно убываетъ, начиная отъ значенія, существующаго въ мѣстѣ входа тока, — значеніе это для обѣихъ вѣтвей одинаково, — до значенія въ мѣстѣ выхода; при этомъ паденіе или „потеря напряженія" на пути до какой-нибудь точки пропорціонально пройденному до этой точки сопротивленію. Слѣдовательно, въ двухъ точкахъ, раздѣляющихъ каждый изъ двухъ путей — верхній и ниж-

нiй — на пару сопротивленiй a и b, c и d, напряженiе будетъ одинаково въ томъ случаѣ, если $a:b=c:d$; поэтому, если на эти точки наложить мостъ, то черезъ послѣднiй токъ течь не будетъ.

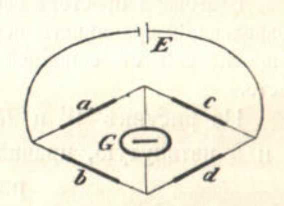
Другое доказательство см. **80** I, стр. 201.

Простое разсужденiе убѣждаетъ въ томъ, что это соотношенiе остается справедливымъ и въ томъ случаѣ, если источникъ и указатель тока будутъ переставлены одинъ на мѣсто другого; всего яснѣе это становится, если перечертить фигуру такъ, какъ изображено здѣсь рядомъ. Горизонтальная дiагональ содержитъ элементъ, изолированная отъ нея вертикальная дiагональ образуетъ мостъ. Токъ въ мостѣ исчезаетъ, когда $a:b=c:d$, или когда $ad=bc$. Но положенiе сопротивленiй a, d и b, c относительно обоихъ дiаметровъ одно и то же, и потому, при существованiи вышеуказаннаго соотношенiя, токъ долженъ исчезать въ горизонтальномъ дiаметрѣ, если источникъ тока лежитъ въ вертикальномъ.



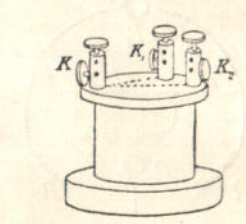
I. Мостъ съ сопротивленiями попарно равными

Пусть a и b будутъ два проводника съ равными сопротивленiями, c измѣряемое сопротивленiе, d реостатъ; въ E находится источникъ тока, въ G гальваноскопъ. Здѣсь c равно тому сопротивленiю реостата, которое надо включить въ d, чтобы токъ въ G исчезъ.



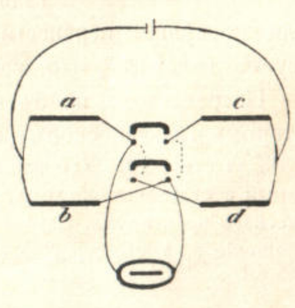
Можно также въ вѣтви a и c включить сопротивленiя завѣдомо равныя, а въ b и d — сравниваемыя.

Два сопротивленiя, образующiя равныя вѣтви, могутъ состоять изъ двухъ равныхъ проволокъ, навитыхъ вмѣстѣ. Два конца присоединены къ клеммѣ K, два другiе — къ K_1 и K_2. Отрѣзки по 10 омовъ для большинства цѣлей оказываются пригодными.



Интерполяцiя. Если въ реостатѣ нѣтъ сопротивленiя въ точности равнаго, то производятъ интерполяцiю посредствомъ двухъ сосѣднихъ наблюденiй (см. **7** и **90**).

Коммутаторъ. Взаимное перемѣщенiе сопротивленiй и здѣсь дѣлаетъ работу независимой отъ точнаго равенства сопротивленiй a и b: именно, c и d равны въ томъ случаѣ, если при ихъ взаимномъ перемѣщенiи гальваноскопъ не измѣняетъ своей установки. — Или же поступаютъ такъ: пусть d будетъ реостатъ. Чтобы привести стрѣлку къ нулю, при одномъ расположенiи требуется ввести со-



противленіе R_1, послѣ переключенія — R_2; тогда среднее значеніе $\frac{1}{2}(R_1+R_2)$ даетъ правильную величину для сопротивленія c. Какъ именно слѣдуетъ расположить коммутаторъ для такого перемѣщенія, показываетъ чертежъ

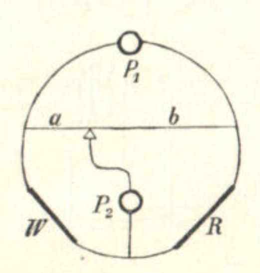
Экстратокъ. Работая съ сопротивленіями, обладающими самоиндукціей, въ особенности съ электромагнитами, нельзя довольствоваться мгновеннымъ замыканіемъ, потому что возникающіе при этомъ экстратоки могутъ повести къ ошибкѣ. Съ другой стороны, вслѣдствіе развитія теплоты, не слѣдуетъ болѣе сильный токъ безъ надобности держать долгое время замкнутымъ. По этой причинѣ устроены особые ключи, дѣлающіе экстратокъ безвреднымъ.

Опредѣленіе очень большихъ или очень малыхъ сопротивленій. Здѣсь можетъ оказаться необходимымъ или выгоднымъ брать вѣтви a и b не равными, а въ извѣстномъ отношеніи (1 : 10, 1 : 100, при сопротивленіяхъ въ милліоны омовъ даже 1 : 1000); тогда (верхній чертежъ) $c : d = a : b$.

II. Сравненіе сопротивленій на проволочномъ мостѣ Витстона-Кирхгофа

Благодаря простотѣ своихъ вспомогательныхъ средствъ, этотъ способъ, позволяющій сравнивать неравныя сопротивленія (напримѣръ, неизвѣстное сопротивленіе съ единицей или десяткомъ и т. д.), примѣняется особенно часто.

На рисункѣ W и R обозначаютъ сравниваемыя сопротивленія, a и b натянутую, правильно цилиндрическую проволоку, для которой сопротивленія можно принять пропорціональными длинѣ. По проволокѣ скользитъ передвижной контактъ, отъ котораго проводъ идетъ къ мѣсту соединенія сопротивленій W и R.

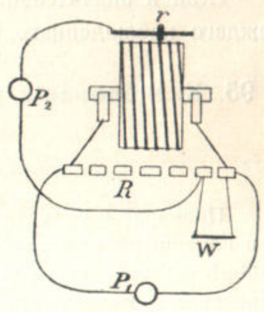


P_1 и P_2 обозначаютъ источникъ тока и гальваноскопъ. Въ принципѣ безразлично, въ какой изъ этихъ двухъ точекъ помѣстить гальваноскопъ и въ какой источникъ тока. Если послѣдній перенести въ P_2, то подвижной контактъ дѣйствуетъ надежнѣе, что очень желательно при работѣ.

Посредствомъ пробъ находятъ то отношеніе между a и b, при которомъ гальваноскопъ не даетъ тока. Тогда $W : R = a : b$.

Для отношенія $a : b$ или его логариѳма существуютъ таблицы; болѣе полныя составлены Обахомъ, болѣе краткія помѣщаются въ учебникахъ физическаго практикума. Самыя дѣленія вдоль проволоки могутъ прямо давать отношеніе $a : b$, ср. стр. 235 внизу.

Если R и W малы, то слѣдуетъ принять во вниманіе соединительныя проволоки, сопротивленіе которыхъ слагается съ сопротивленіями, подлежащими сравненію. Проволоки эти, очевидно, не оказываютъ никакого вліянія, если сопротивленія ихъ относятся, какъ $R : W$. Поэтому, на основаніи предварительнаго опыта, подбираютъ проволоки (одинаковаго сорта) такъ, чтобы полныя длины ихъ, по ту и другую сторону, приблизительно удовлетворяли этому отношенію. Съ этою цѣлью удобно вести проводъ къ P_2 отъ клеммы, которую можно переставлять вдоль голой проволоки, соединяющей W и R.



Мостъ въ формѣ вала. Сподручнѣе и точнѣе натянутой измѣрительной проволоки оказывается проволока, намотанная на вращающійся валъ и соединенная концами со стойками, поддерживающими ось; проволока дѣлаетъ десять оборотовъ, и каждый оборотъ вала имѣетъ 100 подраздѣленій. Къ концамъ проволоки присоединены, во-первыхъ, измѣряемое сопротивленіе W и реостатъ R (который часто наглухо прикрѣпленъ къ инструменту) и, во-вторыхъ, провода, ведущіе къ обнаружителю тока P_1. Источникъ тока P_2 присоединенъ къ подвижному контакту (контактное колесо r) и къ мѣсту соединенія R и W. — Вмѣсто постояннаго тока и гальванометра можно при измѣреніи сопротивленій съ достаточно малой самоиндукціей примѣнять перемѣнные токи и телефонъ. См. чертежъ стр. 235 вверху.

94. Сравненіе сопротивленій по наблюденіямъ надъ затуханіемъ гальванометра

Магнитная стрѣлка, колеблющаяся внутри замкнутаго мультипликатора, наводитъ въ немъ токи, дѣйствующіе замедляющимъ образомъ на движеніе стрѣлки. Логариѳмическій декрементъ (27) достаточно малыхъ колебаній постояненъ; часть его, зависящая отъ упомянутыхъ токовъ, обратно пропорціональна полному сопротивленію $\gamma + w$ мультипликатора и замыкающей проволоки.

Пусть w_1 и w_2 сравниваемыя сопротивленія. Если наблюдаются логариѳмическіе декременты

λ_0, когда мультипликаторъ замкнутъ самъ на себя,

λ_1 и λ_2, когда онъ замкнутъ соотвѣтствующими сопротивленіями w_1 и w_2,

λ' при разомкнутомъ мультипликаторѣ, т. е. при успокоеніи, напримѣръ, отъ механическаго сопротивленія воздуха,

то $$\frac{w_1}{w_2} = \frac{\lambda_0 - \lambda_1}{\lambda_0 - \lambda_2} \frac{\lambda_2 - \lambda'}{\lambda_1 - \lambda'}.$$

Это слѣдуетъ изъ соотношенія
$$(\lambda_0 - \lambda') : (\lambda_1 - \lambda') : (\lambda_2 - \lambda') = 1/\gamma : 1/(\gamma + w_1) : 1/(\gamma + w_2).$$

Кромѣ того, $\gamma : w_1 = (\lambda_1 - \lambda') : (\lambda_0 - \lambda_1)$, откуда можно опредѣлить сопротивленіе гальванометра γ, если сопротивленіе w извѣстно, или наоборотъ.

Періодъ колебанія и затуханіе могутъ быть увеличены астазированіемъ извнѣ (**83**).

Если λ значительно, то придется ввести поправку, именно отъ каждаго наблюденнаго λ отнять $\frac{1}{4}\lambda^3$.

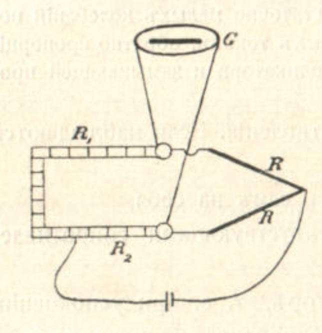
95. Калиброваніе реостата или проволоки Витстонова моста

I. Штепсельный реостатъ

Провѣрка и опредѣленіе ошибокъ реостата проще всего производится при помощи нормальнаго реостата. Если такового не имѣется, то, какъ при наборѣ разновѣсокъ, сравниваютъ отдѣльныя составныя части или суммы одинаковаго наименованія между собою, а одну изъ составныхъ частей — опять-таки съ нормальнымъ сопротивленіемъ.

Примѣнимъ для сравненія мостъ Витстона (**93**). Полюсъ элемента соединяютъ съ одной изъ металлическихъ накладокъ реостата. Если у реостата нѣтъ соотвѣтствующаго приспособленія для этой цѣли, то устраиваютъ соединеніе въ мѣстѣ прикрѣпленія проволокъ или очищаютъ часть металлической поверхности. Нѣтъ необходимости, чтобы въ мѣстѣ контакта совсѣмъ не было сопротивленія.

Отъ другого полюса элемента проводъ идетъ къ мѣсту развѣтвленія двухъ равныхъ сопротивленій (см. также рисунокъ на стр. 227). Короткія проволоки отъ R къ R_1 и R_2 должны имѣть равныя сопротивленія, или же, при случаѣ, могутъ служить для исправленія неравенства R и R. По обѣ стороны отъ мѣста развѣтвленія на реостатѣ вводятся сравниваемыя сопротивленія R_1 и R_2 одинаковаго наименованія. Наблюдаютъ установку стрѣлки e. Затѣмъ добавляютъ къ сопротивленію R_1 (гдѣ



можно, къ меньшему) сравнительно малое извѣстное сопротивленіе $\mathfrak{d}$ (1, или 0·1, или 0·01) и наблюдаютъ установку стрѣлки e'. Пусть e_0 будетъ положеніе покоя при отсутствіи тока. Тогда

$$R_2 = R_1 + \mathfrak{d}\,\frac{e - e_0}{e - e'}.$$

Равенство R и R провѣряютъ взаимнымъ перемѣщеніемъ. См. также о коммутаторѣ стр. 227.

Вмѣсто R и R можно пользоваться проволочнымъ мостомъ съ передвижнымъ контактомъ (см. стр. 228); въ этомъ случаѣ отношеніе $R_1 : R_2$ находятъ изъ одной только установки. Если послѣдняя уклоняется на ϵ дѣленій отъ середины (истинной) моста, то для случая моста, раздѣленнаго на 1000 частей, $\frac{R_1}{R_2} = \frac{500+\epsilon}{500-\epsilon}$, что почти равно $1 + 0{\cdot}004\,\epsilon$ (см. **5**, формула 8).

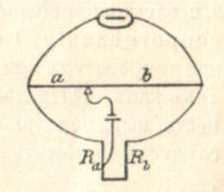
При сравненіи самыхъ малыхъ сопротивленій реостата, когда сопротивленія у штепселей являются источникомъ ошибокъ, можно примѣнять способъ, основанный на отвѣтвленіи (**91** II).

Вычисленіе таблицы поправокъ. Если разности номинально равныхъ сопротивленій найдены такимъ образомъ изъ наблюденія [напримѣръ, $10' - 10''$, $20' - (10' + 10'')$, $20'' - 20'$ и $50' - (20' + 20'' + 10')$, гдѣ $10''$ представляетъ собою сумму единицъ], то таблица поправокъ получается совершенно такъ же, какъ для набора разновѣсокъ (**14**).

При сочетаніи 4, 3, 2, 1 сравниваютъ 4 съ $3 + 1$, 3 съ $2 + 1$, 2 съ $1 + 1'$ и 1 съ $1'$, гдѣ подъ $1'$ подразумѣвается сумма сопротивленій ближайшаго низшаго десятка. — Для реостатовъ, гдѣ каждый десятокъ составленъ изъ 10 равныхъ сопротивленій, пріемъ ясенъ самъ собою.

II. Калиброваніе проволоки при помощи реостата

Проволоку ab и реостатъ включаютъ такъ, какъ показываетъ чертежъ. Берутъ изъ реостата сопротивленія въ отношеніи $R_a : R_b$ (напримѣръ, разъ за разомъ 1 : 9, 2 : 8, 3 : 7 и т. д., не пользуясь слишкомъ малыми сопротивленіями) и каждый разъ опредѣляютъ соотвѣтствующее отношеніе $a : b = R_a : R_b$. Нѣсколько точекъ по близости отъ концовъ опредѣляютъ, кромѣ того, посредствомъ $R_a : R_b = 1 : 99$ и т. д. — Проволоки, подводящія къ



R_a и R_b, выбираютъ достаточно толстыя, такъ что ими можно пренебречь.

Таблица поправокъ. Пусть проволока моста раздѣлена на 1000 частей. Если вышеуказаннымъ способомъ найдено, что точкѣ a проволоки, которой безъ поправки соотвѣтствовало бы отношеніе $a:(1000-a)$, въ дѣйствительности отвѣчаетъ отношеніе $(a+\delta):[1000-(a+\delta)]$ — отношенія эти удобно брать изъ таблицъ Обаха, — то поправка, которую слѣдуетъ придавать къ отчету a, будетъ δ. Наносятъ δ, отвѣчающія a, на координатную бумагу и соединяютъ точки кривою, изъ которой можно брать поправки или составить таблицу поправокъ. Чѣмъ чаще точки, тѣмъ меньше остается неопредѣленности.

96. Электропроводность электролитовъ

Если исключить химическія соединенія, расплавленныя при повышенной температурѣ, то тѣлами, проводящими благодаря химическому разложенію (перемѣщеніе іоновъ), явятся въ сущности лишь растворы солей, кислотъ и основаній. Опредѣленія электропроводности могутъ имѣть цѣлью изученіе состоянія тѣла въ растворѣ (диссоціація, гидролизъ), электролитической подвижности его іоновъ или, наконецъ, концентраціи раствора, напримѣръ, при опредѣленіяхъ растворимости тѣла.

Электропроводность вообще сильно возрастаетъ съ температурой, и на послѣднюю поэтому всегда слѣдуетъ обращать вниманіе. Часто температурный коэффиціентъ и самъ по себѣ представляетъ интересъ.

Цилиндръ длины l и поперечнаго сѣченія q изъ проводника съ электропроводностью (или „удѣльной электропроводностью") κ имѣетъ сопротивленіе $w=\frac{1}{\kappa}\frac{l}{q}$. Прежде электропроводность электролитовъ относили къ ртути при 0°, и она всегда выражалась малыми числами. Въ этомъ случаѣ w получается въ ртутныхъ единицахъ или единицахъ Сименса, если l измѣрено въ метрахъ, а q въ квадратныхъ миллиметрахъ.

Теперь за единицу электропроводности принимаютъ „$см^{-1}$ $омъ^{-1}$", т. е. электропроводность тѣла, кубическій сантиметръ котораго имѣетъ сопротивленіе 1 омъ; наиболѣе хорошо проводящіе водные растворы при температурѣ крови обладаютъ приблизительно такой электропроводностью. Такъ какъ $см^3$ Hg при 0° имѣетъ сопротивленіе 1/10630 ома, то электропроводность, выраженную въ ртутныхъ единицахъ, для перечисленія на $см^{-1}$ $омъ^{-1}$ слѣдуетъ умножить на 10630. — Итакъ, сопротивленіе цилиндра длиною въ l $см$ съ поперечнымъ сѣченіемъ q $см^2$ равно $w=\frac{1}{\kappa}\frac{l}{q}$ омовъ. И если для

опредѣленія электропроводности к измѣрили сопротивленіе этого цилиндра и нашли его $=w$, то $\kappa = \frac{l}{q}\frac{1}{w}$ (см. стр. 199).

$1/\kappa$ называется также удѣльнымъ сопротивленіемъ проводника. l/q, т. е. множитель, при умноженіи на $1/\kappa$ дающій сопротивленіе цилиндрическаго пространства, называется электролитической емкостью (**Widerstandskapazität** этого пространства.

Пространство произвольной формы между двумя электродами также имѣетъ въ этомъ смыслѣ опредѣленную электролитическую емкость, т. е. число C, которое при дѣленіи на электропроводность проводника к даетъ сопротивленіе w между электродами. Итакъ,

$$w = C/\kappa, \quad \text{или} \quad C = w\kappa, \quad \text{или} \quad \kappa = C/w.$$

На этомъ основанъ способъ опредѣленія электропроводности данной жидкости: ею наполняютъ пространство съ извѣстной электролитической емкостью C (ср. стр. 236) и опредѣляютъ сопротивленіе w, а затѣмъ получаютъ

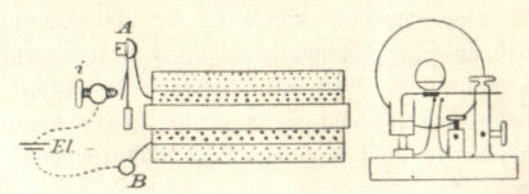
$$\kappa = C \cdot \frac{1}{w}.$$

Впрочемъ, это C есть ни что иное, какъ умноженное на 10000 число, выражающее сопротивленіе того же пространства при заполненіи ртутью при 0^0 въ единицахъ Сименса.

Поляризація электродовъ. Перемѣнные токи. Токъ въ электролитѣ всегда связанъ съ разложеніемъ, при которомъ на электродахъ выдѣляются іоны. Это выдѣленіе производитъ вообще электродвижущую силу, направленную противъ тока, *поляризацію электродовъ*, вслѣдствіе которой токъ ослабляется, а кажущееся сопротивленіе, слѣдовательно, увеличивается.

Поляризація не замѣтна при *перемѣнныхъ токахъ* малаго періода между электродами съ достаточно большой поверхностью; чтобы не придавать большихъ размѣровъ прибору, получаютъ такую поверхность, покрывая электроды посредствомъ электролиза мелко раздробленной платиновой чернью.

Возбудитель тока. Простѣйшимъ возбудителемъ перемѣнныхъ токовъ является небольшой индукціонный приборъ, состоящій изъ желѣзнаго сердечника и *первичной* катушки съ молоточкомъ Нефа въ качествѣ прерывателя и изъ *вторичной* катушки, въ которой при размыканіи и замыканіи первичной цѣпи наводятся кратковременные токи одинаковой суммарной силы, но противоположнаго направленія. На рисункѣ, дающемъ разрѣзъ прибора, изображенъ платиновый прерыватель, а на видѣ сбоку — ртутный прерыватель. Правильное положеніе прерывателя находятъ посредствомъ пробъ, перемѣщая

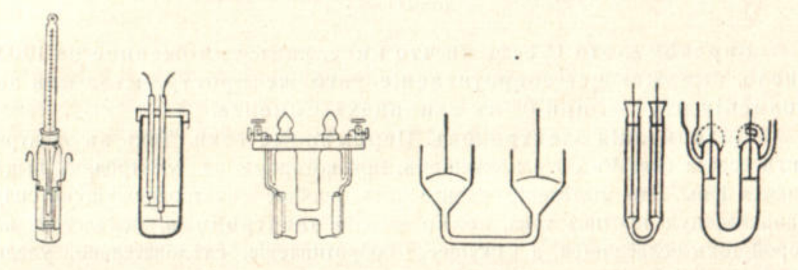


регулировочный винтъ; чтобы предохранить ртуть отъ сгоранія во время проскакиванія искры, ее покрываютъ слоемъ дестиллированной воды, которую время отъ времени мѣняютъ. Источникомъ тока служитъ аккумуляторъ или одинъ—два элемента Даніэля.

Правильно построенный прерыватель работаетъ безшумно, въ особенности если приборъ стоитъ на кусочкѣ каучука. Если же шумъ есть, то ненаблюдающее ухо затыкаютъ ватой или антифономъ.

Телефонъ, какъ средство для обнаруженія тока. Гальванометръ не реагируетъ на перемѣнные токи. Иногда пользуются динамометромъ, но по большей части телефономъ. Телефонъ слѣдуетъ плотно прижимать къ уху; индукціонный приборъ долженъ стоять отъ него на нѣкоторомъ разстояніи (1 *м*) во избѣжаніе непосредственнаго дѣйствія электромагнита на телефонъ.

Сосуды для измѣренія сопротивленія жидкостей. Для плохихъ проводниковъ, какъ вода и разжиженные растворы, могутъ служить двѣ первыя формы, съ широкими, близкими другъ къ другу электродами; остальныя для болѣе хорошихъ проводниковъ. Всѣ сосуды, за исключеніемъ перваго, слѣдуетъ ставить въ ванну съ термометромъ. Слѣдуетъ обращать

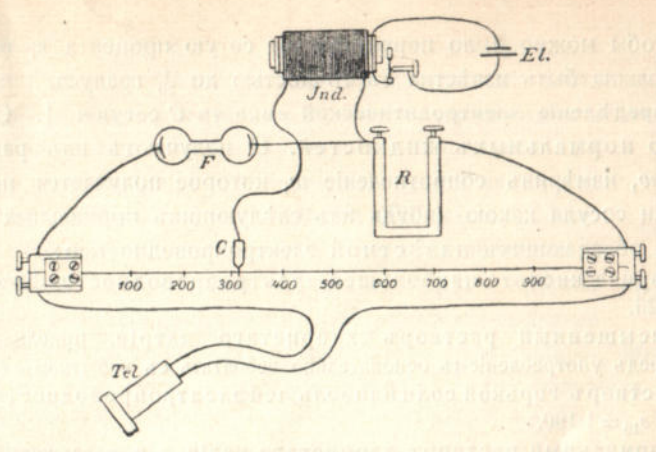


вниманіе на то, чтобы примѣняемые токи не были слишкомъ сильны и не производили бы нагрѣванія и увеличенія электропроводности.

Опредѣленіе сопротивленія проволочнымъ мостомъ (93 II)

F электролитическій сосудъ съ жидкостью, R наборъ извѣстныхъ проволочныхъ сопротивленій; то и другое соединено, съ одной стороны, съ концами измѣрительной проволоки, съ другой стороны, — между собою (чертежъ на слѣд. стр.). Къ мѣсту ихъ взаимнаго соединенія и къ подвижному контакту подходятъ проволоки отъ полюсовъ вторичной катушки индукторія. Телефонъ присоединенъ къ концамъ измѣрительной проволоки.

Передвижной контактъ устанавливаютъ на той точкѣ шкалы, которая соотвѣтствуетъ полному исчезновенію или минимуму звука въ телефонѣ. Причины плохого минимума могутъ заключаться въ поляризаціи, въ самоиндукціи плохо намотанныхъ проволочныхъ катушекъ, а при большихъ сопротивленіяхъ — еще и въ электростатической емкости. Всего удобнѣе измѣрять сопротивленія, лежа-

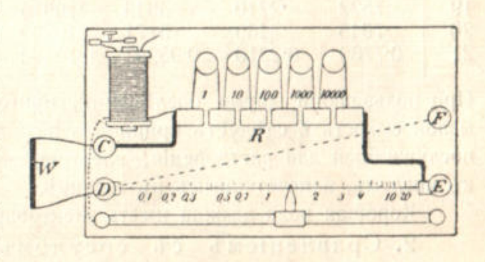


щія въ промежуткѣ отъ 30 до 1000 или до нѣсколькихъ 1000 омовъ. Поэтому по мѣрѣ возможности стараются подыскать сосуды, дающія такія сопротивленія.

Изъ сопротивленій R, предназначенныхъ для сравненія, предпочитаютъ брать тѣ, которыя даютъ установку контакта не слишкомъ далеко отъ середины проволоки.

Мостъ въ видѣ вала удобнѣе натянутой проволоки. На чертежѣ стр. 229 W должно обозначать электролитическій сосудъ, P_1 телефонъ, P_2 источникъ тока, т. е. вторичную катушку индукторія.

Въ маленькомъ мостикѣ (чертежъ) соединены всѣ части, необходимыя для измѣренія. Между C и D вставляютъ измѣряемое сопротивленіе, къ E и D (иногда къ E и F; послѣднее соединено съ концомъ проволоки D) присоединяютъ телефонъ. Индукціонная катушка соединена съ подвижнымъ контактомъ и съ точкой, лежащей между C и сопротивленіями реостата.



Элементъ присоединяютъ къ двумъ (не нарисованнымъ) клеммамъ. Переключатель на одной изъ послѣднихъ позволяетъ выключать индукторій и измѣрять обыкновенныя сопротивленія постояннымъ токомъ, т. е. съ примѣненіемъ гальванометра вмѣсто телефона.

Дѣленія подъ проволокой такъ нанесены и занумерованы, что отчитанное число сразу даетъ отношеніе a/b.

Вычисленіе электропроводности. Если сопротивленіе жидкости въ сосудѣ емкости $C\ cм^{-1}$ оказалось равнымъ w омамъ, то электропроводность $\kappa = C/w$.

Чтобы можно было поручиться за сотую процента к, температура должна быть извѣстна съ точностью до $\frac{1}{20}$ градуса.

Опредѣленіе электролитической емкости *C* сосуда. 1. Съ помощью нормальныхъ жидкостей. C получаютъ изъ равенства $C = к . w$, измѣривъ сопротивленіе w, которое получается при наполненіи сосуда какою-нибудь изъ слѣдующихъ нормальныхъ жидкостей, обладающихъ извѣстной электропроводностью:

Сѣрная кислота наибольшей электропроводности, 30% H_2SO_4; $s_{18} = 1{\cdot}223$.

Насыщенный растворъ хлористаго натрія, приблизительно, 26%; предъ употребленіемъ основательно взболтать съ избыткомъ соли.

Растворъ горькой соли наибольшей электропроводности, 17·4% $MgSO_4$; $s_{18} = 1{\cdot}190$.

Нормальный растворъ хлористаго калія, т. е. содержащій 74·60 *г* KCl въ литрѣ раствора. — Также $\frac{1}{10}$ и $\frac{1}{50}$ нормальнаго раствора KCl.

Насыщенный растворъ гипса, приготовленный на чистой водѣ и передъ употребленіемъ достаточно взболтанный. Небольшая муть не вредитъ.

Вотъ проводимости к этихъ жидкостей:

	H_2SO_4 макс.	NaCl насыщ.	$MgSO_4$ макс.	KCl норм.	KCl 1/10 норм.	KCl 1/50 норм.	Гипсъ насыщ.	
15°	0·7028	0·2015	0·04555	0·09254	0·01048	0·002243	0·001742	15°
16	·7151	·2063	4676	·09443	1072	2294	1791	16
17	·7275	·2112	4799	·09633	1095	2345	1841	17
18	·7398	·2161	4922	·09824	1119	2397	1891	18
19	·7522	·2210	5046	·10016	1143	2449	1940	19
20	·7645	·2260	5171	·10209	1167	2501	1990	20
21	0·7768	0·2310	0·05297	0·10402	0·01191	0·002553	0·002039	21

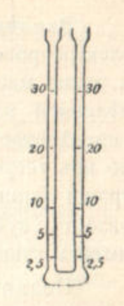
При пользованіи двумя послѣдними, пригодными для сосудовъ съ весьма малой емкостью, слѣдуетъ принимать во вниманіе электропроводность воды, послужившей для растворенія; электропроводность ея слѣдуетъ придавать къ числамъ, напечатаннымъ въ таблицѣ.

Хорошая вода должна имѣть электропроводность $к . 10^6 = 1$ до 2.

2. Сравненіемъ съ сосудомъ, емкость котораго извѣстна. Оба сосуда, наполненные одною и тою же жидкостью и стоящіе въ одной и той же ваннѣ, включаютъ на мѣсто F и R (верхній чертежъ пред. стр.); отношеніе сопротивленій даетъ отношеніе емкостей.

Измѣреніе электропроводности съ помощью сосуда, емкость котораго можно измѣнять опредѣленнымъ образомъ.

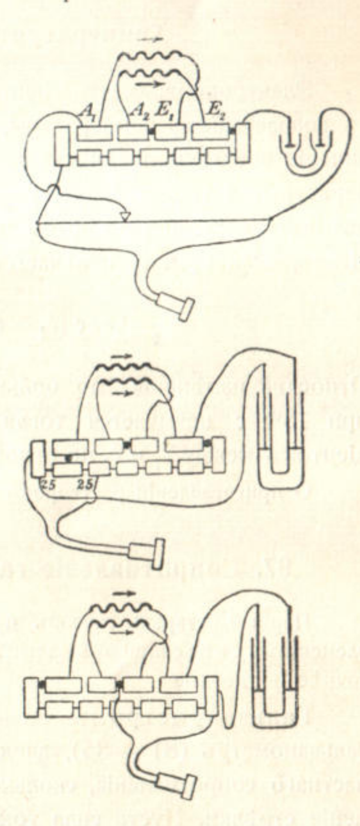
Въ U-образную трубку (чертежъ на слѣд. стр.) съ поперечнымъ сѣченіемъ въ $1/2$ — 1 $см^2$ вставлены передвижные, хорошо платинированные электроды. Она градуирована по емкости, т. е. если лѣвый элек-



тродъ стоитъ на дѣленіи c_l, а правый въ то же время на c_r, то слѣдуетъ считать $C = c_l + c_r$. Для точнаго измѣренія трубку подвѣшиваютъ въ ваннѣ съ термометромъ.

Въ проволочномъ мостѣ нѣтъ необходимости: достаточно, напримѣръ, витстоновскаго развѣтвленія съ двумя равными парами сопротивленій (**93** I) или дифференціальнаго индуктора (см. ниже, 3). Для сопротивленія R, съ которымъ производится сравненіе, берутъ круглое число (50, 100, 200, 1000 омовъ), устанавливаютъ лѣвый электродъ на c_l и ищутъ для праваго такое положеніе c_r, при которомъ звукъ исчезаетъ. Полагая $c_l + c_r = C$, безъ большихъ вычисленій получаемъ электропроводность изъ равенства $\kappa = C : R$.

Универсальный индукторъ съ реостатомъ. Вторичная катушка индукторія состоитъ изъ двухъ равныхъ обмотокъ. Концы ихъ соединены съ металлическими накладками для штепселей, позволяющими, во-первыхъ, включить сравниваемыя сопротивленія и, во-вторыхъ, служащими для слѣдующихъ цѣлей:



1. Находящійся здѣсь чертежъ даетъ понятную безъ дальнѣйшихъ разъясненій схему проволочнаго моста. Весь реостатъ употребляется, какъ измѣрительное сопротивленіе.

2. Мостъ съ сопротивленіями попарно равными. Для этого пользуются парой сопротивленій по 25 омовъ. Къ нимъ присоединенъ телефонъ (какъ гальванометръ къ вѣтвямъ a и b на чертежѣ стр. 227) и по одну сторону — реостатъ, по другую — электролитическій сосудъ.

3. Дифференціальный индукторъ. Обѣ части индукціонной катушки вводятся не такъ, какъ раньше — послѣдовательно, какъ одно цѣлое, — а такъ, что токи ихъ проходятъ черезъ телефонъ въ противоположныхъ направленіяхъ и не возбуждаютъ его, если имѣютъ равную силу.

Изъ реостата берутъ подходящее сопротивленіе R, передвигаютъ электроды, пока звукъ не исчезнетъ, и отчитываютъ $c_l + c_r$ (см. выше).

Эквивалентная электропроводность Λ раствора. Такъ называютъ электропроводность κ, дѣленную на эквивалентную концентрацію η раствора; η равна массѣ электролита, содержащейся въ единицѣ объема раствора, дѣленной на эквивалентный вѣсъ электролита. Согласно обыкновенному опредѣленію, концентрація разсчитывается въ граммъ-эквивалентахъ на литръ; но изъ теоретическихъ соображеній въ данномъ случаѣ за единицу концентраціи принимаютъ величину въ 1000 разъ большую, именно граммъ-эквивалентъ / кубическій сантиметръ, такъ что „нормальный растворъ" (см. **9a**) имѣетъ эквивалентную концентрацію $\eta = 0{\cdot}001$. — При этомъ $\Lambda = \kappa / \eta$.

Подвижность іоновъ. Эквивалентная электропроводность складывается аддитивно изъ „подвижностей" обоихъ іоновъ. Для очень разбавленныхъ водныхъ растворовъ пригодна табл. 22. Съ возрастаніемъ концентраціи подвижности уменьшаются.

Температурный коэффиціентъ

Электропроводность электролита вообще сильно увеличивается съ возрастаніемъ температуры, и въ небольшихъ промежуткахъ увеличеніе электропроводности почти пропорціонально повышенію температуры. Относительное увеличеніе $\mathfrak{c}$ электропроводности на 1^0 называется температурнымъ коэффиціентомъ электропроводности. Итакъ, если κ_1 и κ_2 отвѣчаютъ температурамъ t_1 и t_2, то

$$\frac{\kappa_2 - \kappa_1}{\kappa} = \mathfrak{c}\,(t_2 - t_1) \quad \text{или} \quad \mathfrak{c} = \frac{1}{\kappa} \cdot \frac{\kappa_2 - \kappa_1}{t_2 - t_1}.$$

Относятъ измѣненія, по большей части, къ электропроводности κ при 18^0; $\mathfrak{c}$ называется тогда среднимъ температурнымъ коэффиціентомъ между t_1 и t_2 по отношенію къ электропроводности при 18^0.

О приготовленіи растворовъ см. **9a**, относительно κ и $\mathfrak{c}$ – табл. 21.

97. Сопротивленіе гальваническихъ элементовъ

Первый, старый способъ примѣнимъ только къ очень постояннымъ элементамъ съ не слишкомъ малымъ сопротивленіемъ. Второй способъ гораздо точнѣе и удобнѣе.

Гальванометромъ. Элементъ или батарею замыкаютъ черезъ гальванометръ (**81 — 85**), введя въ случаѣ надобности столько балластнаго сопротивленія, сколько потребуется для подходящаго отклоненія стрѣлки. Пусть сила тока будетъ J. Включивъ еще нѣкоторое извѣстное сопротивленіе R, ослабляютъ силу тока до значенія i, — лучше всего приблизительно до половины J. Если W означаетъ

сопротивленіе цѣпи при первомъ наблюденіи, то $WJ = (W + R)\,i$; отсюда

$$W = Ri/(J - i).$$

Изъ W вычитаютъ сопротивленіе гальванометра и постоянное балластное сопротивленіе, если послѣднее было примѣнено.

Перемѣнными токами и телефономъ. Элементъ включаютъ такъ, какъ включено F на чертежѣ стр. 235. Постоянный токъ, даваемый самимъ элементомъ, не вліяетъ на измѣреніе; онъ лишь не долженъ быть настолько сильнымъ, чтобы вредить сопротивленію R или телефону. Конечно, лучше всего производить изслѣдованіе надъ четнымъ числомъ одинаковыхъ элементовъ, соединенныхъ такъ, чтобы ихъ электродвижущія силы другъ друга уничтожали.

98. Сопротивленіе гальванометра

Сопротивленіе γ мультипликатора, какъ и всякое другое, можно опредѣлить по способамъ, указаннымъ въ **90–94**. Существуютъ однако способы, при которыхъ пользуются стрѣлкой того же самаго гальванометра, напримѣръ:

Прямое замыканіе

Замыкаютъ черезъ гальванометръ постоянный элементъ съ извѣстнымъ или очень малымъ сопротивленіемъ (аккумуляторъ), если нужно, включивъ еще опредѣленное сопротивленіе. Пусть w_0 будетъ сумма этого балласта и сопротивленія элемента. Сила тока пусть равна J. Уменьшимъ этотъ токъ приблизительно до половины его величины i, введя изъ реостата еще сопротивленіе R. Тогда $\gamma = Ri/(J - i) - w_0$.

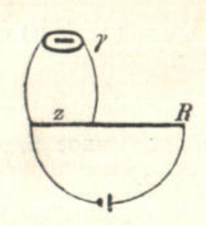
Ибо $(\gamma + w_0)\,J = (\gamma + w_0 + R)\,i$.

Балластъ, по большей части, приходится брать сравнительно слишкомъ большимъ, такъ что пріемъ оказывается неточнымъ.

Отвѣтвленіе тока

Пропускаютъ токъ черезъ реостатъ, присоединяютъ къ этому току гальванометръ двумя различными способами и измѣряютъ отклоненія; такимъ образомъ получаютъ два уравненія, изъ которыхъ можно вывести γ. Нижеслѣдующее представляетъ собою примѣръ этого способа.

Постоянный элементъ (аккумуляторъ) замыкаютъ черезъ реостатъ и присоединяютъ гальванометръ къ сопротивленію z этой цѣпи, не слишкомъ отличающемуся отъ сопротивленія гальванометра. Пусть R сопротивленіе цѣпи безъ отвѣтвленія, т. е. $R =$ сопротивленію эле-



мента + сопротивленіе реостата, за исключеніемъ сопротивленія z, входящаго въ отвѣтвленіе. Пусть сила тока въ γ равна i. Затѣмъ соединяютъ элементъ, гальванометръ и реостатъ обыкновеннымъ способомъ, послѣдовательно, и подбираютъ болѣе значительное сопротивленіе R' (включающее элементъ) такъ, чтобы токъ i' въ гальванометрѣ былъ того же порядка, какъ и i. Искомое сопротивленіе γ гальванометра будетъ тогда

$$\gamma = z\,\frac{i'R' - iR}{i(R+z) - i'z}.$$

Доказательство. Имѣемъ $i' = \frac{E}{R' + \gamma}$ и (стр. 201) $i = \frac{Ez}{R(\gamma + z) + \gamma z}$. Отсюда слѣдуетъ $E = i'R' + i'\gamma$ и $E = iR + i\gamma(R+z)/z$. Приравнивая оба эти выраженія для E, получаемъ тотчасъ вышеприведенное значеніе.

Если выбрать R' такъ, чтобы оба отклоненія были р а в н ы, т. е. $i = i'$, то просто

$$\gamma = z(R' - R)/R.$$

Въ этомъ видѣ способъ примѣнимъ также и къ инструменту, который, собственно говоря, не измѣряетъ, а позволяетъ лишь судить, больше ли сила тока или меньше.

99. Сравненіе электродвижущихъ силъ или напряженій

Слѣдуетъ имѣть въ виду, что электродвижущая сила элемента вообще падаетъ съ увеличеніемъ силы тока. Элементы съ разжиженными или бывшими въ употребленіи долгое время жидкостями и „непостоянные“ элементы (напримѣръ, Сми, Лекланше, а также столь важные въ качествѣ нормальныхъ элементовъ ртутно-цинковые и ртутно-кадміевые) при сильномъ токѣ могутъ быть во много разъ слабѣе, чѣмъ при компенсаціи или при совсѣмъ слабомъ токѣ. Всего постояннѣе оказывается хорошо заряженный аккумуляторъ или элементъ Даніэля.

Если двѣ электродвижущія силы E и e возбуждаютъ въ цѣпяхъ съ сопротивленіемъ W и w силы тока J и i, то

$$E : e = JW : iw.$$

Сравненіе при помощи реостата

Одинъ изъ элементовъ E замыкаютъ черезъ реостатъ и указатель тока и, подбирая сопротивленіе, добиваются того, чтобы стрѣлка установилась на подходящемъ цѣломъ дѣленіи шкалы. Затѣмъ замѣ-

няютъ E другимъ элементомъ e и при помощи реостата приводятъ стрѣлку въ прежнее положеніе. Пусть полное сопротивленіе въ первомъ случаѣ $= W$, во второмъ $= w$. Тогда напряженія относятся такъ:

$$E : e = W : w.$$

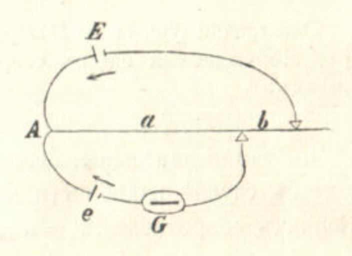
W и w заключаютъ въ себѣ, кромѣ сопротивленія реостата, еще сопротивленія указателя тока и элемента. Однако, если взять сопротивленіе реостата большимъ сравнительно съ остальными — что всегда возможно при употребленіи чувствительнаго указателя тока, — то послѣдними можно пренебречь, или же ограничиться ихъ примѣрной оцѣнкой.

Сравненіе при помощи измѣрителя тока

Замыкаютъ сначала одинъ, потомъ другой элементъ черезъ чувствительный измѣритель тока, вводя каждый разъ одно и то же сопротивленіе. Пусть сопротивленіемъ элемента можно пренебречь по сравненію съ другими сопротивленіями. Если наблюдаются силы тока J и i, то $E : e = J : i$.

Компенсаціонный пріемъ для непостоянныхъ элементовъ

По Боска. Пусть требуется сравнить элементъ e съ болѣе сильнымъ источникомъ электродвижущей силы E (одинъ или нѣсколько элементовъ Даніэля или аккумуляторовъ). a и b перемѣнныя сопротивленія реостата, или же ab измѣрительная проволока съ двумя подвижными контактами; къ этимъ перемѣннымъ сопротивленіямъ присоединяютъ оба элемента навстрѣчу другъ другу (чертежъ) и въ цѣпь



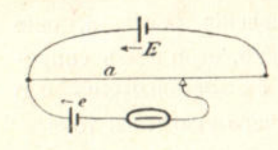
непостояннаго элемента включаютъ показатель тока G. Ищутъ такія сопротивленія a и b или такіе отрѣзки проволоки, для которыхъ токъ въ G исчезаетъ. Затѣмъ ищутъ другую пару сопротивленій или отрѣзковъ проволоки a' и b', для которыхъ токъ въ G снова исчезаетъ; тогда

$$\frac{E}{e} = 1 + \frac{b - b'}{a - a'}.$$

Доказательство. Назовемъ черезъ W сопротивленіе вѣтви, содержащей E и черезъ J силу тока въ ней; въ a и b будетъ токъ той же

силы; поэтому (правило В, стр. 201) $E=(W+a+b)J$ и $e=aJ$. Отсюда $aE/e=W+a+b$. Точно также для второго опыта $a'E/e=W+a'+b'$. Вычитаніе обоихъ равенствъ даетъ $(a-a')E/e=a-a'+b-b'$, откуда и получается приведенное выше равенство. Ясно, что контактъ справа отъ b долженъ имѣть постоянное сопротивленіе, такъ какъ оно входитъ въ W.

По Дюбуа-Реймону. Сопротивленіе, обозначенное на предыдущемъ чертежѣ черезъ $a+b$, оставляютъ постояннымъ $(=l)$ и перемѣщаютъ только контактъ элемента e. Тогда его электродвижущая сила $e=a\,.\,E/(W+l)$, т. е. просто на просто пропорціональна длинѣ a, при которой токъ въ G исчезаетъ; см. приведенное выше доказательство, строка 4. Поэтому можно написать $e=\mathfrak{K}\,.\,a$, гдѣ $\mathfrak{K}=E/(W+l)$.



Итакъ, здѣсь необходимо знать сопротивленіе W элемента E, служащаго для сравненія, вмѣстѣ съ подводящими проволоками, причемъ это сопротивленіе должно быть выражено въ единицахъ длины измѣрительной проволоки. Независимо отъ этого, можно опредѣлить постоянный множитель $\mathfrak{K}$ такимъ образомъ: оставивъ элементъ E на мѣстѣ, вмѣсто e вставляютъ нормальный элементъ съ извѣстнымъ напряженіемъ e_0. Если при этомъ требуется длина a_0, то, очевидно, $\mathfrak{K}=e_0/a_0$.

100. Электродвижущая сила въ абсолютной мѣрѣ

Электродвижущая сила E выражается въ вольтахъ черезъ токъ въ i амперъ, возбуждаемый ею въ сопротивленіи w омовъ (**80** I 4) слѣдующимъ образомъ:

$$E=w\,.\,i.$$

I. Прямое измѣреніе. Замыкаютъ элементъ измѣрителемъ тока, введя въ случаѣ надобности добавочное сопротивленіе. Пусть сумма внѣшнихъ сопротивленій $=w_1$, внутреннее сопротивленіе элемента $=w_0$, сила тока $=J$; тогда $E=(w_0+w_1)\,J$.

При употребленіи чувствительныхъ гальванометровъ можно пренебречь сопротивленіемъ w_0, а часто также и сопротивленіемъ гальванометра.

Измѣрители напряженія. Такъ называются измѣрители тока, обладающіе весьма большимъ сопротивленіемъ и иногда заключающіе въ себѣ добавочное постоянное сопротивленіе, присоединенное послѣдовательно (такъ что сопротивленіемъ источника тока можно по сравненію съ нимъ пренебречь); дѣленія на такихъ

инструментахъ сразу даютъ произведеніе силы тока на сопротивленіе, т. е. напряженіе элемента. Если сопротивленіе измѣрителя напряженія $=\gamma$, то при добавленіи сопротивленій 9γ, 99γ и т. д. цѣна дѣленія возрастаетъ въ 10, 100 и т. д. разъ. — Въ настоящее время существуютъ инструменты, въ особенности указатели тока Вестоновскаго типа (**85**), сопротивленіе которыхъ выражается круглымъ числомъ, снабженные сопротивленіями, которыя можно включать параллельно и послѣдовательно (**86**); благодаря этому инструменты эти можно употреблять и какъ измѣрители напряженія и какъ измѣрители тока, мѣняя при этомъ въ широкихъ предѣлахъ значеніе шкалы.

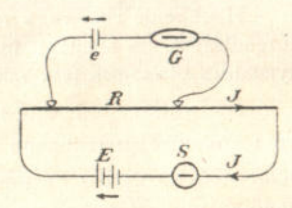
II. Способъ Ома. Двойнымъ измѣреніемъ исключаютъ сопротивленіе элементъ + гальванометръ. Замыкаютъ элементъ черезъ реостатъ и гальванометръ (тангенсъ-буссоль или вѣрный указатель тока) и наблюдаютъ токи i_1 и i_2 при сопротивленіяхъ реостата R_1 и R_2; тогда

$$E = i_1\, i_2\, (R_1 - R_2)/(i_2 - i_1).$$

Полезно, чтобы одинъ токъ былъ приблизительно вдвое слабѣе другого. Для тангенсъ-буссоли всего лучше отклоненія въ 35^0 и 55^0.

Примѣненіе метода ограничивается „постоянными" элементами; при сильныхъ токахъ электродвижущая сила всѣхъ элементовъ уменьшается (**99**).

III. Компенсаціонный методъ Поггендорфа. Напряженіе непостояннаго элемента (электродвижущая сила котораго уменьшается при прохожденіи тока), и притомъ полное напряженіе, опредѣляютъ, уничтожая въ немъ токъ посредствомъ компенсаціи. Замыкаютъ болѣе сильную, постоянную батарею E черезъ измѣритель тока S и реостатъ или измѣрительную проволоку, сопротивленіе которой извѣстно; изслѣдуемый же элементъ e съ чувствительнымъ гальваноскопомъ посредствомъ пробъ присоединяютъ къ такой части R сопротивленія реостата (располагая элементъ, конечно, противоположно первому току), что токъ въ отвѣтвленіи исчезаетъ. Если сила главнаго тока равна J, то по **80** I B искомая электродвижущая сила $= JR$.

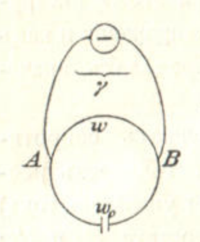


Въ то время, какъ производятся пробы, лучше всего, пока не будетъ приблизительно найдено подходящее R, ввести въ отвѣт-

вленіе настолько значительное балластное сопротивленіе, чтобы элементъ никоимъ образомъ не могъ дать значительнаго тока.

101. Разность потенціаловъ въ замкнутой цѣпи. Напряженіе на клеммахъ

Чтобы найти разность потенціаловъ (напряженіе) между двумя точками тока A и B, устраиваютъ между этими точками отвѣтвленіе съ измѣрителемъ напряженія или чувствительнымъ гальванометромъ, къ которому присоединяютъ большое сопротивленіе. Если γ полное сопротивленіе и i сила тока въ отвѣтвленіи, то для весьма значительнаго γ разность напряженій P просто $= i\gamma$. Измѣритель напряженія прямо даетъ P.



Если остальными сопротивленіями нельзя пренебречь сравнительно съ γ, то приходится вводить поправку, ибо сила тока въ w мѣняется, когда замкнуто отвѣтвленіе.

Напряженіе на клеммахъ. Подъ этимъ терминомъ подразумѣваютъ разность потенціаловъ на полюсахъ (клеммахъ) источника тока (батарея, динамомашина) въ то время, какъ онъ даетъ токъ. Измѣреніе производится такъ, какъ указано выше; только за точки развѣтвленія берутъ полюсы источника тока. Такое опредѣленіе имѣетъ большое значеніе для динамомашинъ, такъ какъ ихъ электродвижущая сила зависитъ отъ силы тока и потому должна быть измѣрена въ то время, какъ машина даетъ токъ.

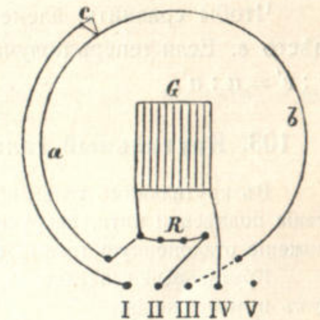
Измѣреніе значительныхъ силъ тока измѣрителемъ напряженія

Измѣреніе сильныхъ токовъ часто приводится къ измѣренію разности потенціаловъ на концахъ проводника съ извѣстнымъ сопротивленіемъ, слѣдующимъ образомъ (см. также измѣреніе тока посредствомъ компенсаціи, **88**).

Къ нѣкоторой части тока, примѣрно къ концамъ включеннаго въ цѣпь измѣрительнаго сопротивленія для сильныхъ токовъ (**80** IV), величина котораго R извѣстна, присоединяютъ измѣритель тока. По напряженію P находятъ силу тока: она равна P/R. Главный токъ получается отсюда умноженіемъ на $1 + R/\gamma$, если γ означаетъ сопротивленіе отвѣтвленія, содержащаго измѣритель напряженія; часто величиною R/γ можно бываетъ пренебречь.

102. Универсальный гальванометръ Сименса

Инструментъ этотъ служитъ для опредѣленія силъ тока, сопротивленій и напряженій.



G мультипликаторъ, *R* сопротивленія въ 1, 10, 100 или 1000 омовъ, включаемыя посредствомъ вынимания штепселей; *a* и *b* проволока моста, натянутая въ видѣ круга. I, II, III, IV, V винтовыя клеммы; изъ нихъ III и IV посредствомъ штепселя могутъ быть прямо соединены между собою. Клемма V, посредствомъ клавиши соединяющаяся съ II, употребляется вмѣсто II для мгновеннаго замыканія. Если V отсутствуетъ, то къ II можно присоединить для той же цѣли контактъ, которымъ было бы удобно пользоваться рукою. *C* обозначаетъ передвижной контактъ (въ дѣйствительности соединеніе между *C* и I находится подъ инструментомъ).

1. Измѣреніе тока. Соединяютъ клеммы II (или V) и IV съ проводами тока. Посредствомъ *R* можно включать въ цѣпь сопротивленія. Градусныя дѣленія вдоль проволоки моста позволяютъ примѣнять инструментъ, какъ синусъ-буссоль. Ср. **82**.

Въ новѣйшемъ видоизмѣненіи инструмента вращающаяся синусъ-буссоль замѣнена Вестоновскимъ измѣрителемъ тока.

2. Опредѣленіе сопротивленія. Между I и II (V) включаютъ элементъ, между II и III — сопротивленіе и вставляютъ штепсель между III и IV. Тогда получается обыкновенный витстоновъ мостъ, стр. 228. Сопротивленіе *R*, служащее для сравненія, выбираютъ по возможности близкимъ по величинѣ къ измѣряемому сопротивленію. Если *C* поставлено такъ, что замыканіе не даетъ тока, то $w = R \,.\, b/a$. Въ прежнихъ инструментахъ $a + b = 300$; нулевое дѣленіе шкалы лежитъ посрединѣ. Разсчетъ облегчается таблицей. У новѣйшихъ инструментовъ (у которыхъ III присоединено не къ b, а къ a, такъ что $w = R \,.\, a/b$!) дѣленія прямо даютъ отношеніе a/b.

3. Сравненіе электродвижущихъ силъ (**99**, въ концѣ). Штепсель III — IV вынимаютъ, вставляютъ штепселя *R* и включаютъ одну изъ сравниваемыхъ электродвижущихъ силъ *e* между I и IV, а другую, болѣе сильную и постоянную, *E* между II (V) и III; при этомъ одноименные полюсы *e* и *E* соединяютъ съ I и III. Затѣмъ отыскиваютъ длину *a*, при которой стрѣлка остается въ покоѣ. Если элементъ *e* непостояненъ, то его включаютъ лишь на мгновенія, дѣлая

это либо при помощи самого контактнаго колесика, либо производя замыканіе у клеммы I. Если сопротивленіе w_0 элемента E извѣстно, то $e : E = a : (a + b + w_0)$.

Чтобы сравнить элементъ e съ другимъ e', вставляютъ e' на мѣсто e. Если теперь получается установка a', то, независимо отъ w_0, $e : e' = a : a'$.

103. Крутильный гальванометръ (Сименсъ и Гальске)

Въ крутильномъ гальванометрѣ сила тока измѣряется моментомъ крученія подвѣсной нити, закручиваніемъ которой приводятъ въ нулевое положеніе отклоненную токомъ стрѣлку, висящую въ мультипликаторѣ.

Крутильный гальванометръ служитъ для измѣренія какъ силы тока, такъ и напряженія.

Если приборъ установленъ въ меридіанѣ, то показанія его не зависятъ отъ земного магнитизма. Измѣненія же въ магнитизмѣ самой стрѣлки, могущія возникнуть отъ времени или отъ слишкомъ сильнаго тока, измѣняютъ постоянную прибора, и потому послѣднюю слѣдуетъ почаще опредѣлять заново. — Далѣе, слѣдуетъ обращать вниманіе на температуру, если только мультипликаторъ и сопротивленія для параллельнаго замыканія не изготовлены изъ матеріала, нечувствительнаго къ температурѣ.

Измѣреніе тока. Закручиваніемъ головки приводятъ стрѣлку въ ея нулевое положеніе, параллельное оборотамъ мультипликатора. Если необходимый для этого уголъ поворота обозначить черезъ α, то сила тока $i = C . \alpha$. Постоянная C опредѣляется серебрянымъ вольтаметромъ (**87** I), или нормальнымъ элементомъ (**88**), или же сравненіемъ съ нормальнымъ гальванометромъ (**89**). Два сорта инструментовъ, выпускаемые фирмой Сименсъ и Гальске, должны имѣть $C = 0{\cdot}001$ и $0{\cdot}0001$ ампера на градусъ.

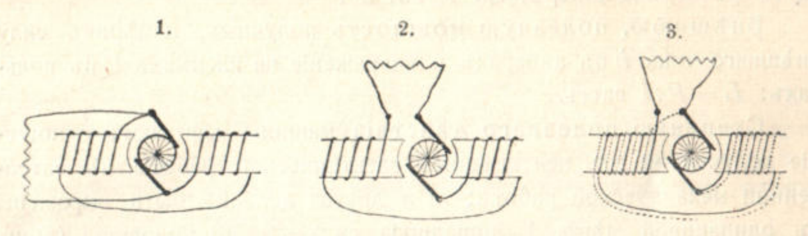
Сильные токи измѣряются съ отвѣтвленіемъ (**86**). Сопротивленіе мультипликатора инструментовъ подогнано къ 1 и къ 100 омамъ; параллельному замыканію въ z омовъ соотвѣтствуютъ переводные множители $0{\cdot}001\ (z+1)/z$ и $0{\cdot}0001\ (z+100)/z$ ампера. Благодаря тому, что при инструментахъ имѣются параллельныя отвѣтвленія въ $z = \frac{1}{9}$, $\frac{1}{99}$ и т. д. и $z = \frac{100}{9}$, $\frac{100}{99}$ ома и т. д., множители получаются въ круглыхъ числахъ, именно 0·01, 0·1 и т. д.; 0·001 0·01 и т. д.

Измѣреніе напряженія. Присоединяя къ инструментамъ последовательно сопротивленіе въ R омовъ, получаемъ значеніе одного дѣленія шкалы въ одномъ инструментѣ $0{\cdot}001\ (R+1)$ вольта, въ

другомъ 0·0001 $(R+100)$ вольта. Слѣдовательно, присоединеніе 9, 99, 999 омовъ и 900, 9900, 99900 омовъ придаетъ каждому дѣленію шкалы значенія 0·01, 0·1, 1 и 0·1, 1, 10 вольтъ.

104. Измѣренія у динамомашинъ

Мы ограничимся здѣсь машинами или генераторами постояннаго тока.



По расположенію намагничивающихъ обмотокъ динамомашины раздѣляются на

1. Машины параллельнаго замыканія (наиболѣе распространенныя). Якорь замкнутъ параллельно тонкой, сравнительно, обмоткой электромагнита и внѣшнею цѣпью; схема на чертежѣ 1. Напряженіе на клеммахъ (**101**) равно нулю при маломъ внѣшнемъ сопротивленіи и при увеличеніи послѣдняго возрастаетъ до нѣкоторой предѣльной величины.

2. Машины послѣдовательнаго замыканія (гораздо рѣже примѣняемыя для добыванія тока). Толстая обмотка электромагнита образуетъ съ якоремъ и внѣшней проводкой простую цѣпь (чертежъ 2). При возрастаніи внѣшняго сопротивленія электродвижущая сила убываетъ до нуля. Напряженіе на клеммахъ при опредѣленномъ внѣшнемъ сопротивленіи достигаетъ максимума.

3. Машины постояннаго напряженія или смѣшанныя (компаундъ-) машины (чертежъ 3). Электромагнитъ имѣетъ двѣ обмотки. Одна, изъ тонкихъ проволокъ (начерченная пунктиромъ), присоединена, какъ въ машинѣ параллельнаго замыканія, къ щеткамъ или къ клеммамъ машины. Другая, изъ толстыхъ проволокъ, соединена съ якоремъ и внѣшней цѣпью послѣдовательно. При надлежащихъ соотношеніяхъ напряженіе на клеммахъ для нормальнаго числа оборотовъ мало зависитъ отъ внѣшняго сопротивленія.

Сильныя искры свидѣтельствуютъ о неправильной установкѣ щетокъ.

Вслѣдствіе присущихъ машиннымъ токамъ колебній слѣдуетъ для измѣреній пользоваться инструментами съ достаточнымъ затуханіемъ.

Сила тока. Объ измѣреніи сильныхъ токовъ тангенсъ-буссолью смотри **81**, чувствительнымъ гальванометромъ съ отвѣтвленіемъ — **86** и **103**, техническими указателями тока — **85**, измѣреніемъ напряженія на концахъ извѣстнаго сопротивленія — **88** и **101**, въ концѣ.

Электродвижущая сила. Непосредственно измѣряется на основаніи **101 — 103** напряженіе P между клеммами или между щетками машины; для машины параллельнаго замыканія это одно и то же. Напряженіе на щеткахъ даетъ, если пренебречь небольшой потерей напряженія въ якорѣ, полную электродвижущую силу.

Мощность (работа тока въ секунду). Единицей служитъ ваттъ = вольтъ × амперъ; ср. **1**, Nr. 28.

Внѣшнюю, полезную мощность получимъ, измѣривъ силу внѣшняго тока i въ амперахъ и напряженіе на клеммахъ P въ вольтахъ: $L = P \cdot i$ ваттъ.

Степенью полезнаго дѣйствія машины называютъ отношеніе полученной отъ нея внѣшней электрической работы къ затраченной механической работѣ; та и другая должны быть выражены въ одинаковой мѣрѣ. 1 лошадиная сила = 0·736 киловатта (круглымъ числомъ $\frac{3}{4}$); ср. **1**, Nr. 10.

Измѣренія надъ лампами накаливанія

Изслѣдованіе электрическихъ лампъ заключается въ одновременномъ измѣреніи силы свѣта и расхода энергіи въ лампѣ, т. е. при постоянномъ токѣ — произведенія напряженія на силу тока. Поэтому говорятъ, напримѣръ: лампа даетъ столько-то свѣчей Гефнера на ваттъ. Относительно фотометріи см. **72**. Сила свѣта обыкновенно измѣряется въ направленіи перпендикулярномъ къ плоскости нити и по двумъ направленіямъ, составляющимъ углы въ 120° съ первымъ.

Чѣмъ выше температура каленія нити, тѣмъ менѣе затрата энергіи на свѣтовую единицу, но тѣмъ менѣе также и продолжительность жизни лампы. Поэтому слѣдуетъ какъ можно точнѣе придерживаться нормальнаго напряженія. Измѣненіе напряженія въ 1% производитъ измѣненіе въ силѣ свѣта въ 6 — 7%.

105. Измѣреніе горизонтальной слагающей земного магнитизма тангенсъ-буссолью

Если токъ, сила котораго i въ CGS-единицахъ извѣстна инымъ путемъ, даетъ въ тангенсъ-буссоли отклоненіе на уголъ α, то на основаніи формулы стр. 205 горизонтальная составляющая земного магнитизма выражается такъ:

$$H = \frac{2n\pi}{R} \frac{i}{\operatorname{tg}\alpha}.$$

i можно опредѣлить съ помощью включеннаго въ ту же цѣпь вольтаметра (**87**), причемъ слѣдуетъ воспользоваться электрохимическимъ эквивалентомъ, отнесеннымъ къ системѣ CGS, т. е. для серебра взять 11·18 *мг/сек.*

Любой вѣрный, независимый отъ земного магнитизма измѣритель тока, напримѣръ, Вестоновскій указатель тока (**85**), можетъ также дать i; показанія въ амперахъ дѣлятся на 10.

106. Баллистическій гальванометръ. Опредѣленіе количества электричества

Баллистическимъ называется гальванометръ въ томъ случаѣ, если пропускаемые черезъ него кратковременные токи измѣряются по точкамъ поворота пришедшей въ колебанія стрѣлки; колебанія для этой цѣли должны быть достаточно медленными.

Если черезъ гальванометръ пропущенъ токъ i въ теченіе времени t, весьма малаго сравнительно съ періодомъ колебанія стрѣлки, то начальная скорость стрѣлки пропорціональна прошедшему количеству электричества $Q = it$, а первое отклоненіе по шкалѣ s пропорціонально этой скорости, слѣдовательно, тому же количеству электричества Q. На этомъ основаніи легко сравнивать между собою количества электричества, протекающія при разрядахъ. Но и абсолютную ихъ величину можно измѣрять согласно слѣдующимъ правиламъ.

Пусть $\mathfrak{C}$ переводный множитель, дающій силу тока по длительному отклоненію, т. е. соотвѣтствующій опредѣленію, данному въ **89**. Если τ періодъ колебанія (**28**), то для количества электричества, перенесеннаго кратковременнымъ токомъ, существуетъ выраженіе

$$Q = \mathfrak{C}\frac{\tau}{\pi} \cdot s = \mathfrak{P} \cdot s.$$

Итакъ, „баллистическій“ переводный множитель $\mathfrak{P}$ получается изъ статическаго $\mathfrak{C}$ умноженіемъ на τ/π.

При этомъ предполагается, что затуханія вовсе не существуетъ.

Гальванометръ съ затуханіемъ. Сила затуханія характеризуется декрементомъ затуханія k, т. е. отношеніемъ размаха колебанія къ размаху, непосредственно за нимъ слѣдующему. Объ опредѣленіи k см. **27**. Величина $\lambda = \lg k$ называется бригговымъ или обыкновеннымъ логариѳмическимъ декрементомъ колебаній, если употребляются обыкновенные логариѳмы. При натуральныхъ логариѳмахъ получается „натуральный логариѳмическій декрементъ“ Λ. Имѣемъ $\Lambda = 2{\cdot}303 . \lambda$. При слабомъ затуханіи приблизительно $\Lambda = k - 1$.

Періодъ колебанія при затуханіи ceteris paribus больше, чѣмъ безъ затуханія, но, если затуханіе не сильно, разница эта незначительна: напримѣръ, при декрементѣ затуханія $\frac{8}{7}$ она составляетъ только $\frac{1}{1000}$.

Вообще, вслѣдствіе затуханія періодъ колебанія увеличивается въ отношеніи $\sqrt{\pi^2+\Lambda^2}:\pi$ или въ $\sqrt{1+\frac{\Lambda^2}{\pi^2}}$ разъ, а такъ какъ π^2 приблизительно $=10$, то вмѣсто послѣдняго выраженія можно взять $\sqrt{1+\frac{1}{10}\Lambda^2}$ или, при слабомъ затуханіи, на основаніи формулы 3 стр. 27, $\left(1+\frac{1}{20}\Lambda^2\right)$.

Итакъ, если періодъ колебанія при затуханіи получился равнымъ T, то безъ затуханія періодъ

$$\tau = T\frac{\pi}{\sqrt{\pi^2+\Lambda^2}} \quad \text{или, приблизительно,} \quad \tau = \frac{T}{1+\frac{1}{20}\Lambda^2}.$$

T при затуханіи рѣдко опредѣляется настолько точно, чтобы нельзя было считать достаточной эту приближенную формулу.

Первое отклоненіе s_0 при отсутствіи затуханія было бы больше, чѣмъ наблюдаемое при затуханіи отклоненіе s. Точное выраженіе для s_0 дается равенствомъ $s_0 = s\,.\,k^{\frac{1}{\pi}\operatorname{arc\,tg}\frac{\pi}{\Lambda}}$; при слабомъ затуханіи это почти $= s\sqrt{k}$ и до $k=2$ слѣдуетъ положить

$$s_0 = s(1+1{\cdot}16\log\operatorname{brigg}k) \quad \text{или} \quad s(1+1{\cdot}16\lambda).$$

Эти соотношенія выводятся изъ уравненія затухающаго колебанія.

Поправка на большіе размахи Поправка эта, при отчетѣ на прямолинейной шкалѣ, заключается въ слѣдующемъ. Если направляющая сила создается крученіемъ нити, то самый уголъ отклоненія α пропорціоналенъ начальной скорости, при магнитной же стрѣлкѣ начальной скорости пропорціоналенъ $\sin\frac{1}{2}\alpha$. Болѣе значительныя изъ наблюдаемыхъ по шкалѣ отклоненій s, согласно **25**, необходимо въ первомъ случаѣ уменьшить на $\frac{1}{3}s^3/A^2$, во второмъ — на мало отличающуюся величину $\frac{11}{32}s^3/A^2$, гдѣ A разстояніе шкалы.

Опредѣленіе баллистическаго переводнаго множителя,

т. е. множителя $\mathfrak{P}$, позволяющаго найти внезапно протекшее черезъ гальванометръ количество электричества Q изъ перваго отклоненія s по формулѣ $Q=\mathfrak{P}\,.\,s$.

Согласно сказанному, для этого требуется знать обыкновенный статическій переводный множитель $\mathfrak{C}$, періодъ колебанія τ и декрементъ затуханія k. Разстояніе шкалы въ 2—3 метра оказывается наиболѣе подходящимъ для обыкновенно примѣняемыхъ инструментовъ.

Нахожденіе періода колебанія; ср. **28**. Такъ какъ колебанія наводятъ въ замкнутой цѣпи гальванометра токи, производящіе затуханіе, то цѣпь слѣдуетъ размыкать. Если затуханіе все-таки настолько сильно, что нельзя получить болѣе или менѣе значитель-

наго ряда колебаній, то приходится, для наблюденія цѣлаго ряда колебаній, время отъ времени поддерживать движеніе, для чего всего удобнѣе пользоваться кратковременными замыканіями тока. Если затуханіе весьма сильно, то и начальный толчекъ дѣлаютъ также весьма сильнымъ; при этомъ оказывается возможнымъ наблюдать первое и нѣсколько послѣдующихъ прохожденій черезъ положеніе равновѣсія, которое цѣлесообразно отмѣтить толстой черной нитью или чѣмъ-нибудь въ этомъ родѣ.

Изъ періода T, наблюдаемаго при затуханіи, вычисляется періодъ τ, соотвѣтствующій отсутствію затуханія, по формулѣ $\tau = T\pi/\sqrt{\pi^2 + \Lambda^2}$. Объ упрощеніи вычисленія см. пред. страницу.

Опредѣленіе декремента затуханія. Возбуждаютъ колебанія кратковременнымъ токомъ („толчкомъ"), наблюдаютъ точки поворота и производятъ вычисленія по **27**. Если затуханіе столь сильно, что можно наблюдать лишь немного точекъ поворота, то повторяютъ наблюденіе и берутъ среднее.

При этомъ гальванометръ долженъ быть замкнутъ тѣмъ же самымъ сопротивленіемъ, что при измѣреніи количествъ электричества.

Статическій переводный множитель $\mathfrak{C}$, т. е. множитель, при помощи котораго длительный токъ i вычисляется изъ соотвѣтствующаго ему длительнаго отклоненія s, по формулѣ $i = \mathfrak{C} . s$. Объ опредѣленіи его см. **89**. Для даннаго случая всего цѣлесообразнѣе вычислить его по отклоненію s, которое производитъ въ гальванометрѣ нормальный элементъ электродвижущей силы E, замкнутый большимъ сопротивленіемъ W (реостатъ + гальванометръ + элементъ), по формулѣ $\mathfrak{C} = E/(Ws)$.

Напримѣръ, если 1 аккумуляторъ ($E = 2{\cdot}0$ вольта), замкнутый сопротивленіемъ въ 10000 омовъ, далъ отклоненіе въ 100 дѣленій шкалы, то для перевода на амперы множитель $\mathfrak{C} = 2{\cdot}0/(10000 . 100) = 2{\cdot}0 . 10^{-6}$.

Баллистическій переводный множитель $\mathfrak{P}$. Изъ наблюденныхъ величинъ $\mathfrak{C}$, τ и k получается $\mathfrak{P} = \mathfrak{C}\frac{\tau}{\pi} \cdot k^{1/\pi \cdot \mathrm{arc\,tg}\,\pi/\Lambda}$ или для умѣреннаго затуханія $\mathfrak{P} = \mathfrak{C}\frac{\tau}{\pi}\ (1 + 1{\cdot}16 . \log \mathrm{brigg}\, k)$; ср. стр. 250.

Если въ предыдущемъ примѣрѣ періодъ колебанія $\tau = 10$ *сек*, то, пренебрегая поправкой на затуханіе, $\mathfrak{P} = 2{\cdot}0 . 10^{-6} . 10/\pi = 6{\cdot}37 . 10^{-6}$.

Это $\mathfrak{P}$ годно при данномъ разстояніи шкалы A. Для другого разстоянія A' имѣемъ $\mathfrak{P}' = \mathfrak{P} . A/A'$.

$\mathfrak{P} \cdot 2A$ служитъ переводнымъ множителемъ для отклоненій, выраженныхъ въ абсолютной угловой мѣрѣ (**1**, Nr. 3), и называется абсолютнымъ баллистическимъ переводнымъ множителемъ.

Опредѣленіе количества электричества

Сущность способа уже изложена въ предыдущемъ. Разряжаютъ измѣряемое количество электричества черезъ гальванометръ, наблюдаютъ первое отклоненіе s и вычисляютъ по формулѣ

$$Q = \mathfrak{P} \cdot s.$$

Если $\mathfrak{C}$, а слѣдовательно и $\mathfrak{P}$, относятся къ веберовской CGS-силѣ тока, то и Q получается въ электромагнитныхъ CGS-единицахъ; если $\mathfrak{C}$ относится къ амперамъ, то Q получается въ амперъ-секундахъ или кулонахъ. — Электромагнитная CGS-единица заключаетъ въ себѣ $300 \cdot 10^8$, а амперъ-секунда, слѣдовательно, $30 \cdot 10^8$ электростатическихъ CGS-единицъ. Ср. **1**, Nr. 14 и 23.

О мультипликаціи отклоненія см. **108**.

107. Емкость конденсаторовъ; ср. 1, 17 и 25

Какъ емкость сосуда, содержащаго газъ, можетъ быть опредѣлена количествомъ газа, входящаго въ этотъ сосудъ при давленіи единица (или, по закону Бойля-Маріотта, отношеніемъ количества газа къ давленію), такъ и электростатической емкостью проводника называется то количество электричества, которое проводникъ содержитъ при электрическомъ напряженіи единица (или отношеніе заряда къ соотвѣтствующему ему напряженію). Когда рѣчь идетъ о емкости конденсатора, то предполагаютъ, что одна изъ обкладокъ отведена къ землѣ (посредствомъ соединенія съ землею приведена къ напряженію нуль), а зарядъ и напряженіе приписываютъ другой обкладкѣ (коллектору).

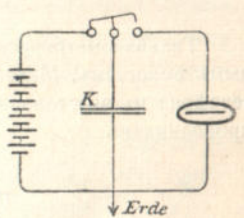
Емкость конденсатора, состоящаго изъ двухъ параллельныхъ обкладокъ по $f\,cм^2$ въ очень маломъ сравнительно разстояніи a *см*, въ электростатическихъ CGS-единицахъ равна $\frac{D}{4\pi} \cdot \frac{f}{a}$, гдѣ D діэлектрическая постоянная изолирующаго слоя (для воздуха $D = 1$, для стекла — отъ 4 до 7). Дѣля на 900000, получаемъ емкость въ микрофарадахъ. Отсюда видно, что микрофарадъ представляетъ собою весьма большую емкость.

При всѣхъ конденсаторахъ, за исключеніемъ воздушнаго, возникаетъ нѣкоторая неопредѣленность отъ того, что часть заряда временно исчезаетъ, принимая форму „остаточнаго заряда". Мы будемъ предполагать, что производятся лишь кратковременные разряды, при которыхъ „остаточный зарядъ" не оказываетъ дѣйствія.

Измѣреніе количества электричества и напряженія въ электростатическихъ или въ электромагнитныхъ единицахъ даетъ емкость въ соотвѣт-

ствующихъ единицахъ; амперъ-секунда и вольтъ — единицы, которыми мы будемъ пользоваться ниже, — даютъ емкость въ фарадахъ. См. 1, Nr. 17 и 25. Емкость конденсаторовъ дается по большей части въ микрофарадахъ; 1 микрофарадъ $= 10^{-6}$ фарада.

Пусть имѣется замыкатель съ тремя контактами, напримѣръ, чашечками со ртутью, дающій возможность соединять одну изъ обкладокъ конденсатора K либо съ полюсомъ батареи, либо съ одной изъ клеммъ гальванометра; противоположные концы всѣхъ трехъ инструментовъ все время отведены къ землѣ (газовая или водопроводная труба).



Соединяя конденсаторъ съ батареей, сообщаютъ ему зарядъ, затѣмъ соединяютъ его съ гальванометромъ, тотчасъ же вновь прерываютъ это соединеніе и наблюдаютъ первое отклоненіе s. Если электродвижущая сила батареи $= E$ и баллистическій переводный множитель гальванометра $= \mathfrak{P}$, то

$$c = \frac{\mathfrak{P}}{E} \cdot s.$$

Ибо зарядъ Q, съ одной стороны $= c \,.\, E$, съ другой $= \mathfrak{P} \,.\, s$.

$\mathfrak{P}$ опредѣляютъ по **106** для гальванометра, колеблющагося въ разомкнутомъ состояніи; E вычисляютъ изъ числа n элементовъ и электродвижущей силы ϵ каждаго по формулѣ $E = n \,.\, \epsilon$; напримѣръ, для аккумуляторовъ $E = n \,.\, 2{\cdot}0$, для элементовъ Даніэля $E = n \,.\, 1{\cdot}1$ вольтъ.

Измѣренія легко повторять, съ примѣненіемъ также мультипликаціоннаго метода (**108**), если только замыкатель позволяетъ съ удобствомъ мѣнять полюсы батареи и гальванометра.

Баллистическое сравненіе двухъ конденсаторовъ

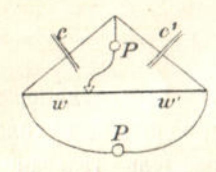
Поступаютъ такъ, какъ описано, сперва съ однимъ, потомъ съ другимъ конденсаторомъ и находятъ $c : c' = s : s'$. Если конденсаторы слишкомъ сильно отличаются другъ отъ друга, то заряжаютъ одинъ съ помощью n, другой съ помощью n' элементовъ такъ, чтобы отклоненія приняли по возможности одинаковую величину; теперь $c : c' = sn' : s'n$.

Чтобы сравнить двѣ лейденскихъ банки, соединяютъ ихъ внутреннія обкладки между собою и въ такомъ видѣ заряжаютъ электрической машиной до одинаковаго напряженія. Затѣмъ ихъ пооче-

редно, по возможности быстро одну за другой, разряжаютъ черезъ гальванометръ, вставивъ въ цѣпь дурной проводникъ (влажную нитку). Вліяніе потерь электричества до извѣстной степени исключается перемѣной порядка разряда банокъ.

Сравненіе конденсаторовъ при помощи телефона на витстоновомъ мостѣ

Гальванометрическое измѣреніе примѣнимо лишь къ болѣе значительнымъ емкостямъ. Маленькіе конденсаторы можно сравнивать при помощи телефона на витстоновомъ мостѣ совершенно такъ же, какъ сопротивленія проводниковъ.



Пусть ww' обозначаетъ измѣрительную проволоку, c и c' конденсаторы, P и P индукторій и телефонъ. Контактъ передвигаютъ до тѣхъ поръ, пока не будетъ достигнутъ минимумъ звука; тогда отношеніе емкостей обратно пропорціонально прилежащимъ длинамъ проволоки:

$$c : c' = w' : w.$$

Опредѣленіе діэлектрической постоянной. Діэлектрическая постоянная такого непроводника, который можно помѣстить въ качествѣ промежуточной среды въ конденсаторъ, можетъ быть опредѣлена на основаніи теоремы, что емкость одинаковыхъ по формѣ конденсаторовъ пропорціональна діэлектрической постоянной промежуточной среды.

108. Мультипликаціонный методъ въ примѣненіи къ баллистическимъ отклоненіямъ

Для измѣренія кратковременныхъ воздѣйствій на баллистическій гальванометръ, въ особенности, напримѣръ, для измѣренія наведенныхъ токовъ, часто оказывается цѣлесообразнымъ повторять импульсы въ правильной послѣдовательности. Вслѣдствіе этого, при существованіи затуханія, устанавливается наконецъ нѣкоторое постоянное состояніе движенія (подобно тому, какъ послѣ нѣсколькихъ колебаній становится постояннымъ размахъ часового маятника, получающаго при каждомъ качаніи толчокъ отъ дѣйствія гири, но встрѣчающаго задержку вслѣдствіе тренія и сопротивленія воздуха). Наблюденіе этого конечнаго состоянія можно повторять любое число разъ и получать точное среднее. Еще одно преимущество состоитъ въ томъ, что при началѣ наблюденій стрѣлка не должна непремѣнно находиться въ покоѣ.

Пріемъ аналогиченъ вышеуказанному примѣру маятника. Сообщаютъ тѣлу толчокъ: оно отходитъ въ сторону и возвращается назадъ. Въ моментъ, когда оно проходитъ черезъ положеніе равновѣсія, двигаясь въ обратную сторону, сообщаютъ ему второй тол-

чокъ въ направленіи, противоположномъ первому, вслѣдствіе чего движеніе усиливается. При слѣдующемъ прохожденіи черезъ положеніе равновѣсія — снова толчокъ въ ту же сторону, какъ и въ первый разъ, и т. д. Размахи мало по малу становятся больше, но подъ конецъ достигаютъ нѣкоторой постоянной предѣльной величины, послѣ чего на каждой сторонѣ наблюдаютъ нѣсколько точекъ поворота и берутъ изъ нихъ среднее. Разность двухъ полученныхъ величинъ даетъ измѣренный по шкалѣ размахъ колебанія; дѣлимъ его пополамъ и въ случаѣ надобности вводимъ поправку, какъ указано на стр. 250. Обозначимъ найденное значеніе черезъ p. Зная его, получаемъ первое отклоненіе s, происходящее отъ однократнаго толчка, при декрементѣ затуханія k, по формулѣ

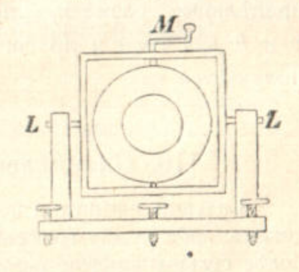
$$s = p\,\frac{k-1}{k}.$$

Количество электричества Q, соотвѣтствующее однократному толчку тока, вычисляемъ согласно **106**: $Q = \mathfrak{P} \cdot s$.

Доказательство. Пусть скорость при прохожденіи черезъ положеніе равновѣсія $= U$ при началѣ перваго отклоненія и $= u$ при возвратѣ; тогда $U/u = k$ или $u = U/k$. Это u благодаря новому толчку снова возрастаетъ до величины U, такъ что скорость, сообщаемая каждымъ толчкомъ, выражается черезъ $u_0 = U - u$ или $U(k-1)/k$. Отклоненія s и p, соотвѣтствующія u_0 и U, относятся между собою, какъ сами эти скорости u_0 и U, откуда $s : p = (k-1) : k$, что и требовалось доказать.

109. Опредѣленіе магнитнаго наклоненія земнымъ индукторомъ Вебера

Опредѣленіе основывается на сравненіи токовъ, индуцируемыхъ въ катушкѣ горизонтальною и вертикальною слагающими H_h и H_v земного магнитизма; мультипликаторъ при этомъ быстро поворачиваютъ на 180^0 изъ положенія, перпендикулярнаго къ данной слагающей H. Вслѣдствіе этого индуцируется „мгновенная“ электродвижущая сила $= 2Hf$, гдѣ f сумма площадей оборотовъ. Такъ какъ f остается безъ измѣненія, то количество электричества, протекающее черезъ гальванометръ, а также и производимое имъ отклоненіе s пропорціонально въ томъ и другомъ случаѣ соотвѣтствующей слагающей.



Но отношеніе обѣихъ слагающихъ H_v/H_h даетъ тангенсъ угла наклоненія J, такъ что

$$\operatorname{tg} J = s_v : s_h.$$

Вертикальная составляющая. Ось M располагаютъ горизонтально и устанавливаютъ ее съ помощью магнитной стрѣлки въ магнитномъ меридіанѣ. Ось LL приводятъ въ горизонтальное положеніе съ помощью ватерпаса.

Затѣмъ, подвинчивая заднюю винтовую ножку, устанавливаютъ ось вращенія M катушки въ точности горизонтально, т. е. такъ, чтобы при перекладываніи уровня на обѣихъ одинаковой толщины цапфахъ оси M пузырекъ занималъ одни и тѣ же дѣленія. Теперь производятъ рядъ наблюденій, причемъ каждый разъ быстро поворачиваютъ катушку отъ одной задержки до другой на 180^0.

Горизонтальная составляющая. Ставятъ мультипликаторъ вертикально (чертежъ на предыдущей страницѣ), прислоняютъ его къ одной изъ задержекъ и насаживаютъ уровень на ось M такъ, чтобы онъ былъ направленъ съ сѣвера на югъ. Заднюю винтовую ножку поворачиваютъ настолько, чтобы воздушный пузырекъ въ обоихъ предѣльныхъ положеніяхъ катушки стоялъ на однихъ и тѣхъ же дѣленіяхъ. Затѣмъ, какъ и прежде, производятъ рядъ наблюденій надъ индукціей.

Методъ наблюденій надъ индукціей. Обѣ серіи наблюдеденій надъ индукціей производятся одинаковымъ образомъ, по большей части съ примѣненіемъ мультипликаціи (**108**). Мультипликацію продолжаютъ до тѣхъ поръ, пока не будетъ достигнутъ постоянный предѣльный размахъ, или при наблюденіи той и другой индукціи сообщаютъ одинаковое число толчковъ и складываютъ оба раза одинаковое число дугъ одного и того же порядковаго наименованія; въ послѣднемъ случаѣ гальванометръ при началѣ наблюденій долженъ находиться въ покоѣ. Обозначимъ эти суммы или предѣльные размахи, упомянутые выше, черезъ S съ указателями v и h для того и другого положенія оси; тогда уголъ наклоненія J получается изъ

$$\operatorname{tg} J = S_v / S_h .$$

110. Опредѣленіе сильнаго магнитнаго поля

Сильныя магнитныя поля получаются либо внутри катушки, обтекаемой токомъ, либо между полюсами магнита, либо — и въ этомъ случаѣ поля наиболѣе сильны — между полюсами электромагнита. Служатъ они, напримѣръ, для изслѣдованія слабо магнитныхъ или діамагнитныхъ веществъ или для такихъ оптическихъ изслѣдованій, какъ вращеніе плоскости поляризаціи свѣта.

Опредѣленіе поля внутри катушки вычисленіемъ

Внутри тонкой по сравненію съ длиною, равномѣрно обмотанной катушки съ n оборотами на каждомъ *см* длины токъ i CGS (**81, 85, 88**) производитъ магнитное поле въ $4\pi n i$ CGS или гауссовъ. По мѣрѣ приближенія къ концамъ магнитное поле убываетъ, но лишь начиная съ того мѣста, разстояніе котораго a отъ конца настолько мало, что величиною r^2/a^2 (гдѣ r радіусъ катушки) уже нельзя пренебречь сравнительно съ единицей. Въ серединѣ конечныхъ поверхностей оно вдвое слабѣе и $= 2\pi n i$.

Посредствомъ индукціи, съ примѣненіемъ баллистическаго гальванометра

Маленькій плоскій проводникъ, соединенный съ гальванометромъ (проволочный кружокъ), охватывающій площадь f, со значительнаго разстоянія сразу вставляется въ поле или вынимается изъ него такъ, чтобы плоскость проводника была перпендикулярна къ силовымъ линіямъ. Если $\mathfrak{H}$ сила поля, то при этомъ въ проводникѣ наводится электродвижущая сила, интегральная величина которой $= f\mathfrak{H}$. (Поворотъ на 180^0 вмѣсто удаленія далъ бы $2f\mathfrak{H}$).

Пусть гальванометръ даетъ при этомъ первое отклоненіе s, измѣренное въ дѣленіяхъ шкалы. Допустимъ, что баллистическій переводный множитель гальванометра, въ единицахъ CGS (т. е. въ 10 разъ меньшій, чѣмъ тотъ, который служитъ для перевода на амперы), равенъ $\mathfrak{P}$ (**106**), а сопротивленіе цѣпи тока составляетъ w CGS (т. е. въ 10^9 разъ больше, чѣмъ при измѣреніи въ омахъ); тогда

$$\mathfrak{H} = \mathfrak{P} . ws/f.$$

(Относительно единицъ см. **1**, Nr. 21, 22, 27).

По высотѣ подъема магнитныхъ жидкостей (Квинке)

Пусть въ магнитномъ полѣ, въ трубкѣ, сообщающейся съ трубкой, расположенной за предѣлами поля, находится поверхность раствора желѣзной, марганцевой или никелевой соли. Положимъ, что магнитное поле произвело разность уровней h; тогда

$$\mathfrak{H} = C . \sqrt{h}.$$

Постоянная C для данной жидкости опредѣляется посредствомъ извѣстнаго поля. Для насыщеннаго раствора хлористаго желѣза приблизительно $C = 7000$ (h выражено въ *см*).

111. Абсолютное измѣреніе сопротивленій по теплотѣ, выдѣляемой токомъ

Ученическая задача, основанная на теоремѣ (1, Nr. 28): единицу сопротивленія по системѣ CGS имѣетъ проводникъ, въ которомъ токъ въ 1 CGS доставляетъ мощность единицу, т. е. въ 1 *сек* развиваетъ количество тепла, эквивалентное работѣ *см* $\times$ *дина* или 1 *эргу*. Работѣ *метръ* $\times$ *г*-вѣсъ, равной $100 \times 981 = 98100$ *эрговъ*, соотвѣтствуетъ количество теплоты $\frac{1}{427}$ *г-калорій*, одному эргу соотвѣтствуетъ, слѣдовательно, $\frac{1}{427 \,.\, 98100} = \frac{1}{41900000}$ *г-калорій*.

Пусть измѣряемое сопротивленіе находится въ калориметрѣ, наполненномъ *m г* дестиллированной воды съ весьма малой электропроводностью. Обозначимъ водный эквивалентъ сосуда, термометра и сопротивленія черезъ γ (**48**). Пусть постоянный токъ, сила котораго при измѣреніи тангенсъ-буссолью (**81**) оказалась равной i CGS или по отчету на измѣрителѣ тока, градуированномъ на амперы, $10\,i$ амперъ, проходитъ черезъ сопротивленіе въ теченіе *t сек*. Начальная температура Θ_0, конечная Θ_1. Противъ тепловыхъ потерь, предположимъ, приняты предосторожности, указанныя въ **48**, и кромѣ того Θ_0 выбрано сравнительно съ температурой окружающей среды почти настолько же ниже, насколько Θ_1 выше. Отсюда вычисляется сопротивленіе проводника

$$w = 41900000 \frac{(m+\gamma)(\Theta_1 - \Theta_0)}{i^2 t} \text{ [CGS] или } [10^{-9} \text{ омовъ}].$$

112. Сравненіе коэффиціентовъ самоиндукціи двухъ проводниковъ телефономъ

Каждое измѣненіе силы тока въ намотанномъ проводникѣ, напримѣръ, въ проволочной катушкѣ, сопровождается появленіемъ „наведенной въ проводникѣ“ электродвижущей силы, которая оказываетъ сопротивленіе этому измѣненію, т. е. при усиленіи тока направлена противъ него и наоборотъ. Величина E этой электродвижущей силы во всякій моментъ равна скорости измѣненія силы тока, умноженной на число S, зависящее отъ формы проводника и называемое его коэффиціентомъ самоиндукціи (электромагнитнымъ потенціаломъ проводника самого на себя или, коротко, самопотенціаломъ). См. 1, 26.

Эта электродвижущая сила (электродвижущая сила „экстратока“) замѣтна, прежде всего, при быстромъ прерываніи тока и можетъ достичь значительной величины, примѣняемой для физіологическихъ и искровыхъ дѣйствій, въ особенности если катушка содержитъ внутри себя желѣзо, магнитныя измѣненія котораго дѣйствуютъ въ томъ же смыслѣ, какъ и наводящій „первичный“ токъ. „Трансформаторы“ перемѣнныхъ токовъ основаны также на

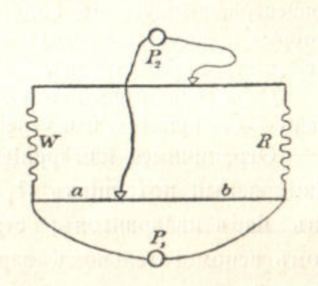
индукціи. — Однако въ присутствіи желѣза коэффиціентъ индукціи не имѣетъ постояннаго значенія, а измѣняетъ свою величину въ зависимости отъ силы тока.

Если выразить величины, служащія для измѣренія, въ системѣ CGS, то коэффиціентъ индукціи получается въ [*см*]; при системѣ омъ, фарадъ и т. д. — въ „квадрантахъ" или „генри"; ср. **1**, 26.

Условіе исчезновенія тока въ мостѣ Витстона — пропорціональность сопротивленій обѣихъ паръ сосѣднихъ вѣтвей — достаточно только при измѣреніи постояннымъ токомъ. Если основной токъ имѣетъ перемѣнную силу, напримѣръ, если это перемѣнный токъ, даваемый индукторіемъ, то вступаетъ въ силу второе условіе, именно, проводники въ вѣтвяхъ должны быть свободны отъ индукціи, или коэффиціенты самоиндукціи сосѣднихъ вѣтвей должны составлять такую же пропорцію, какъ и сопротивленія.

Пусть, напримѣръ, ab прямая проволока, т. е. свободная отъ самоиндукціи, а W и R обладаютъ самоиндукціей, съ коэффиціентами S_W и S_R. Телефонъ въ мостѣ не издаетъ звука только тогда, когда, во-первыхъ, сопротивленія $W : R = a : b$ и вмѣстѣ съ тѣмъ $S_W : S_R = a : b$.

Чтобы опредѣлить отношеніе $S_W : S_R$, изслѣдуемые проводники включаютъ параллельно измѣрительной проволокѣ ab, какъ показываетъ чертежъ, но вмѣстѣ съ тѣмъ вводятъ вспомогательную проволоку съ передвижнымъ контактомъ такъ, что ея сопротивленіе можно по произволу распредѣлить между двумя вѣтвями, содержащими W и R. Затѣмъ посредствомъ пробъ ищутъ такое положеніе этого контакта, при которомъ въ телефонѣ вообще наблюдается замѣтный минимумъ силы звука при передвиганіи контакта вдоль ab. Теперь перемѣщаютъ верхній контактъ немного въ сторону и смотрятъ, сталъ ли отъ этого минимумъ лучше или хуже. Въ послѣднемъ случаѣ передвигаютъ верхній контактъ въ другую сторону.



Цѣлымъ рядомъ пробъ находятъ такое положеніе вспомогательнаго контакта, при которомъ минимумъ становится рѣзкимъ. Если это положеніе найдено, то $S_W : S_R = a : b$. Если правильнаго положенія вообще не существуетъ, то сопротивленіе вспомогательной проволоки слишкомъ мало (или проводники, кромѣ самоиндукціи, обладаютъ еще и емкостью; послѣдняя, однако, можетъ вредить лишь при весьма большихъ сопротивленіяхъ).

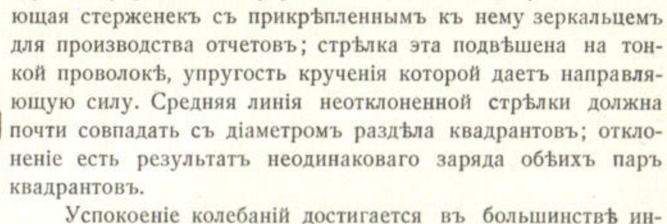
Сравниваемые проводники слѣдуетъ расположить такъ, чтобы они не оказывали индукціоннаго дѣйствія другъ на друга. Надле-

житъ наблюдать также за тѣмъ, чтобы не было вредной индукціи въ подводящихъ проволокахъ.

113. Электрометръ; измѣреніе потенціаловъ (напряженій)

I. Квадрантный электрометръ Томсона

Четыре проводящихъ квадранта, соединенные попарно крестъ-накрестъ, образуютъ коробку съ прорѣзами. Внутри нея находится „стрѣлка", имѣющая стерженекъ съ прикрѣпленнымъ къ нему зеркальцемъ для производства отчетовъ; стрѣлка эта подвѣшена на тонкой проволокѣ, упругость крученія которой даетъ направляющую силу. Средняя линія неотклоненной стрѣлки должна почти совпадать съ діаметромъ раздѣла квадрантовъ; отклоненіе есть результатъ неодинаковаго заряда обѣихъ паръ квадрантовъ.



Успокоеніе колебаній достигается въ большинствѣ инструментовъ посредствомъ маленькой платиновой пластинки (чертежъ), прикрѣпленной къ тонкой, хорошо центрированной платиновой проволокѣ и погруженной цѣликомъ въ концентрированную, не содержащую пыли сѣрную кислоту; тѣ условія, которыя пропечатаны разрядкой, имѣютъ цѣлью устранить статическое треніе, „застреваніе" стрѣлки.

Свой зарядъ (см. ниже) стрѣлка получаетъ или черезъ проволоку, служащую для привѣса, или черезъ сѣрную кислоту.

Ограничимся измѣреніемъ при „квадрантномъ соединеніи". Измѣряемый потенціалъ (**1**, Nr. 16) сообщается при этомъ одной изъ паръ квадрантовъ; стрѣлку же поддерживаютъ при постоянномъ вспомогательномъ зарядѣ, соединяя ее съ полюсомъ многопарной, съ другого конца отведенной къ землѣ батареи или столба Замбони, или лейденской банки. Часто лейденская банка бываетъ соединена съ электрометромъ такимъ образомъ, что сѣрная кислота образуетъ ея внутреннюю обкладку. — Послѣ сообщенія банкѣ свѣжаго заряда равновѣсіе стрѣлки иногда бываетъ неустойчиво; если выжиданіе не помогаетъ, то слѣдуетъ ослабить зарядъ.

Одна изъ паръ квадрантовъ, такъ же, какъ и оболочка электрометра, постоянно отведена къ землѣ.

Нулевое положеніе стрѣлки получается тогда, когда обѣ пары квадрантовъ отведены къ землѣ (газовая или водопроводная труба). Послѣ опредѣленія нулевой точки измѣряемый потенціалъ сообщаютъ одной изъ паръ квадрантовъ въ то время, какъ другая отведена къ землѣ, и наблюдаютъ отклоненіе. Затѣмъ производятъ коммутацію этихъ соединеній (стр. 204) и наблюдаютъ отклоненіе въ другую сто-

рону. Вполнѣ симметричными отклоненія не будутъ, и потому измѣреніе отклоненій всегда производятъ съ коммутаціей и берутъ среднее изъ отчетовъ.

Малыя отклоненія пропорціональны сообщеннымъ потенціаламъ. Въ этихъ предѣлахъ электрометру соотвѣтствуетъ опредѣленный переводный множитель C, дающій напряженіе E, соотвѣтствующее отклоненію α, по формулѣ $E = C \cdot \alpha$. Для опредѣленія C присоединяютъ къ электрометру нормальный элементъ (**80** II) съ извѣстнымъ напряженіемъ E_0; если соотвѣтствующее отклоненіе есть α_0, то $C = E_0 / \alpha_0$.

Испытаніе пропорціональности или градуированіе электрометра. 1. Наблюдаютъ, съ примѣненіемъ коммутаціи, отклоненія, происходящія отъ нѣсколькихъ нормальныхъ элементовъ (**80** II), присоединенныхъ порознь и послѣдовательно, причемъ каждый разъ одинъ изъ полюсовъ отводится къ землѣ.

2. Пропускаютъ постоянный токъ черезъ реостатъ большого сопротивленія (1000 омовъ), одна изъ конечныхъ клеммъ котораго отведена къ землѣ; полное напряженіе на клеммахъ (**101**) реостата должно достигать наивысшаго потенціала, необходимаго для калиброванія. Положимъ, что сила тока i измѣрена въ амперахъ. Одинъ изъ полюсовъ электрометра присоединяется къ клеммѣ, отведенной къ землѣ, а другой соединяется поочередно съ другими точками реостата. Если между полюсами электрометра лежитъ сопротивленіе w омовъ, то соотвѣтствующее напряженіе равно iw вольтъ. Посредствомъ коммутаціи тока получаютъ отклоненія въ ту и другую сторону.

На основаніи этихъ наблюденій, если окажется, что пропорціональность соблюдается недостаточно, строятъ соотвѣтствующую данному инструменту кривую, откладывая отклоненія по абсциссамъ, а потенціалы по ординатамъ, или же составляютъ таблицу.

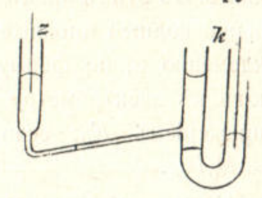
Вслѣдствіе колебаній вспомогательнаго заряда чувствительность слѣдуетъ время отъ времени опредѣлять заново.

II. Капилярный электрометръ Липпмана

Капилярное давленіе на поверхности ртути, соприкасающейся съ разбавленной сѣрной кислотой, уменьшается вслѣдствіе поляризаціи водородомъ на величину, почти пропорціональную поляризаціи, пока послѣдняя не достигла приблизительно $\frac{1}{10}$ вольта. Дальше уменьшеніе становится медленнѣе

и, начиная приблизительно съ 1 вольта, переходитъ въ увеличеніе. Поэтому примѣненіе капилярнаго электрометра ограничивается малыми напряженіями.

Водный растворъ сѣрной кислоты (25%) соприкасается со ртутью, съ одной стороны, въ капилярѣ тонко оттянутой стеклянной трубки, съ другой стороны, въ широкой стеклянной трубкѣ. Изъ обѣихъ массъ ртути выходятъ платиновыя проволоки *z* и *k*, служащія полюсами электрометра. Отрицательный полюсъ измѣряемой разности напряженій, которая должна быть < 1 вольта, соединяется съ *z*, другой — съ *k*.



Наблюдаютъ либо при помощи микроскопа величину смѣщенія, либо то измѣненіе давленія, которое заставляетъ мѣсто контакта возвратиться къ нулевому положенію. За нулевую точку принимается установка при металлическомъ соединеніи *z* и *k*.

Градуированіе инструмента всего лучше производить по способу Nr. 2, предыдущей страницы.

Послѣ наложенія слишкомъ большой или обратно направленной разности потенціаловъ ртуть въ мѣстѣ соприкосновенія въ капилярѣ слѣдуетъ возобновить.

Опредѣленіе электродвижущихъ силъ электрометромъ

Производство измѣренія понятно на основаніи предыдущаго. Каждый изъ двухъ сравниваемыхъ элементовъ присоединяютъ къ электрометру такъ, какъ описано выше. Наблюденныя отклоненія, исправленныя въ случаѣ отступленій отъ пропорціональности (см. пред. стр.), при дѣленіи другъ на друга даютъ отношеніе напряженій или электродвижущихъ силъ элементовъ при отсутствіи тока. Для измѣренія напряженій въ вольтахъ за одинъ изъ элементовъ берутъ нормальный элементъ (**80** II).

Опредѣленіе сопротивленій

Измѣряемыя сопротивленія одновременно включаютъ послѣдовательно въ одну и ту же цѣпь тока, въ постоянствѣ котораго убѣждаются заранѣе, присоединяютъ къ электрометру концы сначала одного, потомъ другого сопротивленія и по отклоненіямъ опредѣляютъ напряженіе между взятыми точками. Отношеніе напряженій даетъ отношеніе сопротивленій.

ТАБЛИЦЫ

1. Приведеніе вѣса къ пустотѣ при взвѣшиваніи латунными разновѣсками

s	k	s	k	s	k
0·7	+1·57	2·0	+0·457	8	+0·007
0·8	1·36	2·5	0·337	9	—0·010
0·9	1·19	3·0	0·257	10	—0·023
1·0	1·06	3·5	0·200	11	—0·034
1·1	0·95	4·0	0·157	12	—0·043
1·2	0·86	4·5	0·124	13	—0·051
1·3	0·78	5·0	0·097	14	—0·057
1·4	0·71	5·5	0·075	15	—0·063
1·5	0·66	6·0	0·057	16	—0·068
1·6	0·61	6·5	0·042	17	—0·072
1·7	0·56	7·0	0·029	18	—0·076
1·8	0·52	7·5	0·017	19	—0·080
1·9	0·49	8·0	+0·007	20	—0·083
2·0	+0·46			21	—0·086

$$k = 1{\cdot}20\left(\frac{1}{s} - \frac{1}{8{\cdot}4}\right).$$

Если тѣло плотности s вѣситъ въ воздухѣ m граммовъ, то, для приведенія вѣса, найденнаго въ воздухѣ, удѣльный вѣсъ котораго 0·0012, къ пустотѣ, слѣдуетъ прибавить къ нему mk миллиграммовъ. Ср. **13** II.

2. Плотность

Алюминій	2·7	Мѣдь	8·5—8·9	**Жидкости при 18⁰**	
Дерево, ель	0·5	Нейзильберъ	8·5		
букъ, дубъ	0·7	Никель	8·8		
Желѣзо, сталь	7·8	Олово	7·3	Алкоголь C_2H_6O	0·791
Золото	19·2	Платина	21·4	Анилинъ C_6H_7N	1·02
Известков. шпатъ	2·71	Пробка	0·2	Бензолъ C_6H_6	0·881
Калій	0·87	Свинецъ	11·3	Бромоформъ $CHBr_3$	2·86
Кварцъ, кристалл.	2·65	Серебро	10·5	Оливк. масло	0·91
Константанъ	8·8	Стекло	2·4—2·6	Ртуть 18⁰	13·552
Латунь	8·1—8·6	„ флинтъ	3·0—5·9	„ 0⁰	13·596
Ледъ	0·9167	Цинкъ	7·1	Сѣроуглеродъ CS_2	1·265
Магній	1·7	KCl 1·98	KNO_3 2·09	Хлороформъ $CHCl_3$	1·493
Манганинъ	8·4	K_2SO_4 2·65	NaCl 2·15	Эѳиръ $C_4H_{10}O$	0·717

Газы	Уд. вѣсъ при 0⁰ и 760 мм	Плотность по отношенію къ воздуху = 1	Плотность по отношенію къ кислороду = 16
Воздухъ	0·001293	1·0000	14·476
Кислородъ	0·001429	1·1053	16·000
Азотъ	0·001251	0·9673	14·003
Водородъ	0·0000899	0·06950	1·006
Углекислота	0·00197	1·52	22
Гремучій газъ	0·000536	0·4148	6·00

3. Удѣльный вѣсъ водныхъ растворовъ при 18° по отношенію къ водѣ при 4°

Процентное содержаніе означаетъ число вѣсовыхъ частей надписаннаго соединенія въ 100 вѣсовыхъ частяхъ раствора. Соли предполагаются безводными. — „Норм." означаетъ 1 *г-экв./литръ*; ср. **9а**.

%	KCl	KNO_3	K_2SO_4	NH_4Cl	NaCl	$NaNO_3$	Na_2SO_4	Na_2CO_3	%
0	0·9986	0·9986	0·9986	0·9986	0·9986	0·9986	0·999	0·999	0
5	1·0308	1·0305	1·0395	1·0142	1·0345	1·0327	1·045	1·051	5
10	1·0638	1·0632	1·0813	1·0289	1·0711	1·0681	1·091	1·104	10
15	1·0978	1·097		1·0430	1·1090	1·105	1·143	1·159	15
20	1·1335	1·133		1·0571	1·1485	1·144			20
25				1·0710	1·1897	1·185			25
30						1·227			30
Норм.	1·0449	1·0602	1·0660	1·0153	1·0392	1·0544	1·0604	1·0515	Норм.

%	$BaCl_2$	$MgSO_4$	$ZnSO_4$	$CuSO_4$	HNO_3	H_2SO_4	Алкоголь	Сахаръ	%
0	0·999	0·999	0·999	0·999	0·999	0·9986	0·9986	0·9986	0
5	1·044	1·050	1·051	1·051	1·027	1·0323	0·9898	1·0183	5
10	1·093	1·104	1·107	1·107	1·056	1·0669	0·9824	1·0386	10
15	1·147	1·160	1·167	1·167	1·086	1·1030	0·9760	1·0597	15
20	1·204	1·220	1·232		1·118	1·1406	0·9696	1·0815	20
25	1·268	1·283	1·305		1·151	1·180	0·9628	1·1042	25
30			1·379		1·184	1·220	0·9551	1·1277	30
35					1·217	1·261	0·9463	1·1520	35
40					1·250	1·304	0·9367	1·1773	40
45					1·283	1·349	0·9264	1·2034	45
50					1·314	1·397	0·9155	1·2304	50
55					1·344	1·447	0·9043	1·2584	55
60					1·372	1·500	0·8928	1·2874	60
65					1·397	1·555	0·8811	1·3173	65
70					1·418	1·612	0·8693	1·348*	70
75					1·438	1·671	0·8574	1·380*	75
80					1·457	1·729	0·8452	* пересыщен.	80
85						1·781	0·8327		85
90						1·817	0·8197		90
95						1·836	0·8060		95
100						1·833	0·7911		100
Норм.	1·0891	1·0574	1·0791	1·0777	1·0325	1·0307		1·1294	Норм.

4. Плотность воды и объемъ V въ $см^3$ при 18^0 стекляннаго сосуда,

содержащаго при t^0 количество воды, кажущійся вѣсъ которой равенъ при взвѣшиваніи латунными разновѣсками въ воздухѣ удѣльнаго вѣса 0·00120 одному грамму.

(Ср. стр. 70)

t	Плотность	Разность	Объемъ V	Разность
0°	0·999 87	+ 6	1·001 64	— 8
1	0·999 93	+ 4	1·001 56	— 7
2	0·999 97	+ 2	1·001 49	— 5
3	0·999 99	+ 1	1·001 44	— 3
4	1·000 00	— 1	1·001 41	— 2
5	0·999 99	— 2	1·001 39	
6	0·999 97	— 4	1·001 39	+ 1
7	0·999 93	— 5	1·001 40	+ 3
8	0·999 88	— 7	1·001 43	+ 4
9	0·999 81	— 8	1·001 47	+ 6
10	0·999 73	— 10	1·001 53	+ 7
11	0·999 63	— 11	1·001 60	+ 8
12	0·999 52	— 12	1·001 68	+ 10
13	0·999 40	— 13	1·001 78	+ 11
14	0·999 27	— 14	1·001 89	+ 12
15	0·999 13	— 16	1·002 01	+ 13
16	0·998 97	— 17	1·002 14	+ 15
17	0·998 80	— 18	1·002 29	+ 15
18	0·998 62	— 19	1·002 44	+ 17
19	0·998 43	— 20	1·002 61	+ 17
20	0·998 23	— 21	1·002 78	+ 19
21	0·998 02	— 22	1·002 97	+ 20
22	0·997 80	— 23	1·003 17	+ 21
23	0·997 57	— 24	1·003 38	+ 22
24	0·997 33	— 26	1·003 60	+ 23
25	0·997 07	— 26	1·003 83	+ 23
26	0·996 81	— 27	1·004 06	+ 25
27	0·996 54	— 28	1·004 31	+ 26
28	0·996 26	— 29	1·004 57	+ 27
29	0·995 97	— 29	1·004 84	+ 27
30	0·995 68		1·005 11	

5. Удѣльный объемъ воды, т. е. объемъ одного грамма воды въ кубическихъ сантиметрахъ между 0° и 100°

Темп.	Объемъ	Приращеніе на 1°
0°	1·000 13	
4	1·000 00	
10	1·000 27	0·000 12
15	1·000 87	18
20	1·001 77	23
25	1·002 94	28
30	1·004 35	33
35	1·005 98	37
40	1·007 82	41
45	1·009 85	44
50	1·012 07	48
55	1·014 48	51
60	1·017 05	55
65	1·019 79	58
70	1·022 70	61
75	1·025 76	65
80	1·028 99	68
85	1·032 37	71
90	1·035 90	74
95	1·039 59	76
99	1·042 65	78
100	1·043 43	0·000 79
101	1·044 22	

6. Удѣльный вѣсъ сухого атмосфернаго воздуха

при температурѣ t и давленіи H *мм* ртутнаго столба

t	Давленіе $H=700$	710	720	730	740	750	760	770
	0·00	0·00	0·00	0·00	0·00	0·00	0·00	0·00
0°	1191	1208	1225	1242	1259	1276	1293	1310
10	1149	1165	1182	1198	1215	1231	1247	1264
11	1145	1161	1178	1194	1210	1227	1243	1259
12	1141	1157	1173	1190	1206	1222	1239	1255
13	1137	1153	1169	1186	1202	1218	1234	1251
14	1133	1149	1165	1181	1198	1214	1230	1246
15	1129	1145	1161	1177	1193	1210	1226	1242
16	1125	1141	1157	1173	1189	1205	1221	1238
17	1121	1137	1153	1169	1185	1201	1217	1233
18	1117	1133	1149	1165	1181	1197	1213	1229
19	1113	1129	1145	1161	1177	1193	1209	1225
20	1110	1126	1141	1157	1173	1189	1205	1221
21	1106	1122	1137	1153	1169	1185	1201	1216
22	1102	1118	1134	1149	1165	1181	1197	1212
23	1098	1114	1130	1145	1161	1177	1193	1208
24	1095	1110	1126	1142	1157	1173	1189	1204
25	1091	1107	1122	1138	1153	1169	1185	1200

7. Приведеніе объема газа къ 0° и 760 *мм*

Если объемъ и плотность при температурѣ t и давленіи H найдены равными v и s, то при 0° и 760 *мм* они будутъ

$$v_0=\frac{v}{1+\alpha t}\cdot\frac{H}{760} \text{ и } s_0=s(1+\alpha t)\frac{760}{H},$$

гдѣ $\alpha=0{\cdot}00367$.

t	$1+\alpha t$	t	$1+\alpha t$
10°	1·0367	20°	1·0734
11	1·0404	21	1·0771
12	1·0440	22	1·0807
13	1·0477	23	1·0844
14	1·0514	24	1·0881
15	1·0550	25	1·0917
16	1·0587	26	1·0954
17	1·0624	27	1·0991
18	1·0661	28	1·1028
19	1·0697	29	1·1064
20	1·0734	30	1·1101
		99	1·3633
		100	1·3670
		101	1·3707

H	$H/760$
мм	
700	0·9211
710	0·9342
720	0·9474
730	0·9605
740	0·9737
750	0·9868
760	1·0000
770	1·0132
780	1·0263
790	1·0395
800	1·0526
810	1·0658
820	1·0789

P. P. *мм*	0·0131	0·0132
1	0·0013	0·0013
2	26	26
3	39	40
4	52	53
5	66	66
6	79	79
7	92	92
8	105	106
9	118	119

8. Приведеніе барометрической высоты къ 0°

Изъ высоты барометра *h*, отчитанной при t^0 на шкалѣ, вѣрной при 0°, вычитается (0·000182 — β) *th*. Коэффиціентъ расширенія шкалы β принятъ для латуни равнымъ 0·000019.

При стеклянной шкалѣ достаточно умножить числа таблицы на 0·008 *t*.

t	Отчитанная высота въ *мм* 680	690	700	710	720	730	740	750	760	770
	мм	*мм*	*мм*	*мм*	*мм*	*мм*	*мм*	*мм*	*мм*	*мм*
10°	1·11	1·12	1·14	1·16	1·17	1·19	1·21	1·22	1·24	1·26
11	1·22	1·24	1·26	1·27	1·29	1·31	1·33	1·34	1·36	1·38
12	1·33	1·35	1·37	1·39	1·41	1·43	1·45	1·47	1·49	1·51
13	1·44	1·46	1·48	1·50	1·53	1·55	1·57	1·59	1·61	1·63
14	1·55	1·57	1·60	1·62	1·64	1·67	1·69	1·71	1·73	1·76
15	1·66	1·69	1·71	1·74	1·76	1·78	1·81	1·83	1·86	1·88
16	1·77	1·80	1·83	1·85	1·88	1·90	1·93	1·96	1·98	2·01
17	1·88	1·91	1·94	1·97	2·00	2·02	2·05	2·08	2·11	2·13
18	2·00	2·02	2·05	2·08	2·11	2·14	2·17	2·20	2·23	2·26
19	2·11	2·14	2·17	2·20	2·23	2·26	2·29	2·32	2·35	2·38
20	2·22	2·25	2·28	2·31	2·35	2·38	2·41	2·45	2·48	2·51
21	2·33	2·36	2·40	2·43	2·46	2·50	2·53	2·57	2·60	2·64
22	2·44	2·47	2·51	2·55	2·58	2·62	2·65	2·69	2·73	2·76
23	2·55	2·59	2·62	2·66	2·70	2·74	2·77	2·81	2·85	2·89
24	2·66	2·70	2·74	2·78	2·82	2·86	2·89	2·93	2·97	3·01
25	2·77	2·81	2·85	2·89	2·93	2·97	3·02	3·06	3·10	3·14

9. Средняя барометрическая высота *b* на высотѣ *H* надъ уровнемъ моря

H	*b*
м	*мм*
0	760
100	751
200	742
300	733
400	724
500	716
600	707
700	699
800	690
900	682
1000	674
1100	666
1200	658
1300	650
1400	642
1500	635
1600	627
1700	620
1800	612
1900	605
2000	598

10. Капилярная депрессія ртути

Діаметръ	Высота мениска въ *мм* 0·4	0·6	0·8	1·0	1·2	1·4	1·6	1·8
мм	*мм*	*мм*	*мм*	*мм*	*мм*	*мм*	*мм*	*мм*
4	0·83	1·22	1·54	1·98	2·37			
5	0·47	0·65	0·86	1·19	1·45	1·80		
6	0·27	0·41	0·56	0·78	0·98	1·21	1·43	
7	0·18	0·28	0·40	0·53	0·67	0·82	0·97	1·13
8		0·20	0·29	0·38	0·46	0·56	0·65	0·77
9		0·15	0·21	0·28	0·33	0·40	0·46	0·52
10			0·15	0·20	0·25	0·29	0·33	0·37
11			0·10	0·14	0·18	0·21	0·24	0·27
12			0·07	0·10	0·13	0·15	0·18	0·19
13			0·04	0·07	0·10	0·12	0·13	0·14

11. Коэффиціентъ линейнаго расширенія, удѣльная теплота, теплопроводность и точка плавленія твердыхъ тѣлъ

	Коэффиціентъ расширенія (при 18⁰)	Удѣльная теплота	Тепло-проводность	Точка плавленія
Алюминій	0·0000 22	0·21	0·48	660⁰
Висмутъ	0·0000 13	0·029	0·02	269⁰
Дерево, вдоль волоконъ	отъ 0·0000 03 до 0·0000 09	—	0·0003	—
Желѣзо	0·0000 11	0·11	0·15	отъ 1200 до 1400
Золото	0·0000 14	0·031	0·70	1060
Кварцъ, перпенд. къ оси	0·0000 137	0·190	0·0001	1700
„ паралл. „ „	0·0000 074			
Латунь	0·0000 18	0·093	отъ 0·15 до 0·30	около 900
Мѣдь	0·0000 16	0·091	0·90	1070
Нейзильберъ	0·0000 18	0·095	отъ 0·07 до 0·09	около 1000
Никель	0·0000 12	0·11	0·14	1470
Олово	0·0000 21	0·052	0·15	232
Платина	0·0000 09	0·032	0·17	1760
Свинецъ	0·0000 28	0·031	0·08	327
Серебро	0·0000 18	0·055	1·01	960
Стекло обыкновенное	0·0000 08	0·19	отъ 0·001 до 0·002	отъ 800 до 1400
Цинкъ	0·0000 29	0·092	0·27	419

12. Коэффиціентъ объемнаго расширенія, удѣльная теплота, точки отвердѣванія и кипѣнія жидкостей

	Коэффиціентъ расширенія при 18⁰	Удѣльная теплота	Точка отвердѣванія	Точка кипѣнія	Коэфф. расширенія 10-проц. водныхъ растворовъ при 18⁰	
Алкоголь	0·00 110	0·58	— 110⁰	78·3⁰		0·000
Амиловый алкоголь	0·00 093	0·55	— 117	130	KCl	29
Анилинъ	0·00 085	0·50	— 8	184	NaCl	30
Бензолъ	0·00 124	0·41	+ 5	80·3	LiCl	22
Вода	0·00 018	1	0	100	KNO_3	32
Глицеринъ	0·00 050	0·58	— 20	290	$NaNO_3$	36
Ксилолъ	0·00 101	0·40	+ 15	139	K_2SO_4	27
Метиловый алкоголь	0·00 122	0·60	— 94	65	Na_2SO_4	30
Нитробензолъ	0·00 085	0·34	+ 5	210	$MgSO_4$	27
Ртуть	0·00 0181	0·0333	— 39	357	H_2SO_4	40
Сѣра	—	—	+ 114	445	Алкоголь	23
Сѣроуглеродъ	0·00 121	0·24	— 113	46·2	Сахаръ	21
Толуолъ	0·00 109	0·40	— 102	111		
Углекислота			— 57	—78		
Уксусная кислота	0·00 107	0·50	+ 17	118		
Хлороформъ	0·00 126	0·23	— 70	61·2		
Эфиръ	0·00 163	0·56	— 118	34·5		

13. Насыщенный водяной паръ. Гигрометрическая таблица

Упругость *e* въ *мм* ртутнаго столба и масса *f* 1 $м^3$ въ граммахъ

t	e надъ льдомъ	f	t	e	f	t	e	f	t	e	f
	мм	$\frac{г}{м^3}$		мм	$\frac{г}{м^3}$		мм	$\frac{г}{м^3}$		мм	$\frac{г}{м^3}$
—10	2·0	2·2	0	4·6	4·8	10	9·2	9·4	20	17·4	17·2
— 9	2·2	2·4	+ 1	4·9	5·2	11	9·8	10·0	21	18·5	18·2
— 8	2·4	2·6	2	5·3	5·6	12	10·5	10·7	22	19·7	19·3
— 7	2·6	2·8	3	5·7	6·0	13	11·2	11·3	23	20·9	20·4
— 6	2·8	3·0	4	6·1	6·4	14	11·9	12·0	24	22·2	21·6
— 5	3·0	3·3	5	6·5	6·8	15	12·7	12·8	25	23·5	22·9
— 4	3·3	3·5	6	7·0	7·3	16	13·6	13·6	26	25·0	24·2
— 3	3·6	3·8	7	7·5	7·8	17	14·5	14·4	27	26·5	25·6
— 2	3·9	4·2	8	8·0	8·3	18	15·4	15·3	28	28·1	27·0
— 1	4·2	4·5	9	8·6	8·8	19	16·4	16·2	29	29·8	28·5
0	4·6	4·8	10	9·2	9·4	20	17·4	17·2	30	31·6	30·1

14. Температура кипѣнія *t* воды при высотѣ *b* барометра или упругость *b* пара при температурѣ *t*

b	t	b	t	b	t	b	t	b	t	b	t
мм	0	мм	0	мм	0	мм	0	мм	0	мм	0
680	96·92	700	97·71	720	98·49	740	99·26	760	100·00	780	100·73
81	96·96	01	·75	21	·53	41	·29	61	·04	81	·76
82	97·00	02	·79	22	·57	42	·33	62	·07	82	·80
83	·04	03	·83	23	·61	43	·37	63	·11	83	·84
84	·08	04	·87	24	·65	44	·41	64	·15	84	·87
85	·12	05	·91	25	·69	45	·44	65	·18	85	·91
86	·16	06	·95	26	·72	46	·48	66	·22	86	·94
87	·20	07	97·99	27	·76	47	·52	67	·26	87	100·98
88	·24	08	98·03	28	·80	48	·56	68	·29	88	101·02
89	·28	09	·07	29	·84	49	·59	69	·33	89	·05
690	·32	710	·11	730	·88	750	·63	770	·37	790	·09
91	·36	11	·14	31	·91	51	·67	71	·40	91	·12
92	·40	12	·18	32	·95	52	·70	72	·44	92	·16
93	·44	13	·22	33	98·99	53	·74	73	·48	93	·19
94	·48	14	·26	34	99·03	54	·78	74	·51	94	·23
95	·52	15	·30	35	·07	55	·82	75	·55	95	·26
96	·56	16	·34	36	·10	56	·85	76	·58	96	·30
97	·60	17	·38	37	·14	57	·89	77	·62	97	·33
98	·63	18	·42	38	·18	58	·93	78	·66	98	·37
699	·67	19	·45	39	·22	59	99·96	79	·69	799	·41
700	97·71	720	98·49	740	99·26	760	100·00	780	100·73	800	101·44

15. Приведеніе періода колебанія къ безконечно малымъ колебаніямъ

Изъ періода колебанія t магнита или маятника, наблюденнаго при полной дугѣ колебанія α, слѣдуетъ вычесть kt (**28**).

α	k		α	k	
0°	0·00000	0	20°	0·00190	20
1	000	2	21	210	20
2	002	2	22	230	21
3	004	4	23	251	23
4	008	4	24	274	23
5	012	5	25	297	25
6	017	6	26	322	25
7	023	7	27	347	26
8	030	9	28	373	27
9	039	9	29	400	28
10	0·00048	10	30	0·00428	29
11	058	11	31	457	30
12	069	11	32	487	31
13	080	13	33	518	32
14	093	14	34	550	33
15	107	15	35	583	33
16	122	16	36	616	35
17	138	16	37	651	35
18	154	18	38	686	37
19	172	18	39	723	38
20	0·00190		40	0·00761	

16. Модуль упругости E въ *кг*-вѣсъ/*мм*², скорость звука u въ *м/сек*, сопротивленіе разрыву p въ *кг*-вѣсъ/*мм*² тянутыхъ металловъ

Числа приблизительныя.

	E	Плотность	u	p
Алюминій	6500	2·7	5000	
Древесныя волокна	отъ 500 до 1200		отъ 3000 до 4000	отъ 1·5 до 5
Желѣзо	19000	7·8	5000	отъ 25 до 60
Золото	8000	19·2	2100	25
Латунь	9000	8·3	3200	60
Мѣдь	12000	8·7	3700	40
Нейзильберъ	12000	8·5	3700	
Никель	20000	8·8	4700	
Олово	4500	7·3	2500	2
Платина	17000	21·4	2800	30
Свинецъ	1700	11·3	1300	2
Серебро	7300	10·5	2700	29
Сталь	21000	7·8	5100	70
Стекло	6500	2·5	5000	
Цинкъ	9000	7·1	3600	13

17. Высота тона и число колебаній въ секунду

(Для темперированной настройки, при $a_1 = 435$. Ср. **57**).

	C_{-2}	C_{-1}	C	c	c_1	c_2	c_3	c_4
C	16·17	32·33	64·66	129·3	258·7	517·3	1035	2069
Cis	17·13	34·25	68·51	137·0	274·0	548·1	1096	2192
D	18·15	36·29	72·58	145·2	290·3	580·7	1161	2323
Dis	19·22	38·45	76·90	153·8	307·6	615·2	1230	2461
E	20·37	40·74	81·47	162·9	325·9	651·8	1304	2607
F	21·58	43·16	86·31	172·6	345·3	690·5	1381	2762
Fis	22·86	45·72	91·45	182·9	365·8	731·6	1463	2926
G	24·22	48·44	96·89	193·8	387·5	775·1	1550	3100
Gis	25·66	51·32	102·65	205·3	410·6	821·2	1642	3285
A	27·19	54·37	108·75	217·5	**435·0**	870·0	1740	3480
Ais	28·80	57·61	115·22	230·4	460·9	921·7	1843	3687
H	30·52	61·03	122·07	244·1	488·3	976·5	1953	3906

18. Спектральныя линіи въ спектрѣ пламени

Шкала Бунзена-Кирхгофа; линія натрія на 50; ширина щели = 1 дѣленію шкалы. Верхнее число — положеніе средины линіи, нижнее — ширина ея, если она больше одного дѣленія шкалы. Римская цифра — яркость при длящемся спектрѣ.

S означаетъ „очень рѣзко очерчена", *s* — „довольно рѣзко". Остальныя линіи представляются болѣе или менѣе размытыми.

Важнѣйшія для анализа линіи отпечатаны жирнымъ шрифтомъ.

Цвѣтъ (приблизительно): красный до 48, желтый до 52, зеленый до 80, голубой до 120, фіолетовый отъ 120. — Водородныя и фраунгоферовы линіи см. табл. 19.

K	**17·5** II *S*	Слабый спектръ отъ 55 до 120.										153·0 IV *S*
Li	**32·0** I *S*	45·2 IV *s*										
Ca	33·1 IV 2	36·7 IV	**41·7** I 1·5	46·8 III 2	49·0 III	52·8 IV	54·9 IV	**60·8** I 1·5	68·0 IV 2			**135·0** IV *S*
Sr	29·8 III	**32·1** II	**33·8** II	36·3 II	39·0 III	41·8 III	**45·8** I *S*					**105·0** III *S*
Ba	35·2 IV 2	41·5 III 3	45·6 III 1·5	52·1 IV	56·0 III 2	**60·8** II *s*	66·5 III 3	**71·4** III3	**76·8** III 2	82·7 IV 4	**89·3** III 2	
Tl	68 I*S*											

19. Длина волны λ, положеніе *p* на шкалѣ Бунзена-Кирхгофа, показатели преломленія, вращеніе въ кварцѣ въ 1 *мм* толщины для фраунгоферовыхъ линій

Показатель преломленія сѣроуглерода убываетъ на 0·0008 съ повышеніемъ температуры на 1⁰.

Фраунгоф. линіи	A	B	C(*H*)	D(*Na*)	E	F(*H*)	f(*H*)	G	H(*H*)
λ . 10^6 = *мм* ×	762	687	656	589	527	486	434	431	397
p =	18·5	29	35	50·0	71·3	90	125	128	162
Вода 18^0	1·3293	·3309	·3317	·3335	·3358	·3377	·3410	·3412	·3441
Алкоголь 18^0	1·3586	·3599	·3606	·3624	·3647	·3667	·3703	·3705	·3736
Сѣроуглеродъ 18^0	1·6103	·6166	·6198	·6293	·6421	·6541	·6771	·6786	·7016
Кронгласъ легкій	1·5099	·5118	·5127	·5153	·5186	·5214	·5264	·5267	·5312
Кронгласъ тяжелый	1·6097	·6117	·6126	·6152	·6185	·6213	·6262	·6265	·6308
Флинтгласъ легкій	1·5986	·6020	·6038	·6085	·6145	·6200	·6302	·6308	·6404
Флинтгласъ тяжелый	1·7351	·7406	·7434	·7515	·7623	·7723	·7910	·7922	·811
Вращеніе въ кварцѣ	12·7⁰	15·7⁰	17·3⁰	21·71⁰	27·5⁰	32·7⁰	42·0⁰	42·6⁰	51·2⁰

Главные показатели преломленія для натріеваго свѣта

	обыкн.	необыкн.
Известковый шпатъ	1·6585	1·4864
Кварцъ	1·5442	1·5533

Гипсъ	1·530	1·523	1·520
Аррагонитъ	1·686	1·682	1·530

Бензолъ	Эфиръ	Тяжелѣйшій флинтгласъ	Слюда	Воздухъ
1·50	1·36	1·9	отъ 1·56 до 1·60	1·00029

20. Удѣльное электрическое сопротивленіе σ металловъ при 18°

Большинство чиселъ приблизительны.

σ представляетъ сопротивленіе кубика-сантиметра, $10^4\sigma$ сопротивленіе проволоки въ 1 *м* длины и 1 *мм*^{2} въ сѣченіи — въ омахъ. Сопротивленіе проволоки въ l *м* длины и q *мм*^{2} въ сѣченіи равно $10^4\sigma \cdot l/q$ омовъ.

Числа относятся вообще къ чистымъ мягкимъ металламъ. Закалка и особенно примѣси повышаютъ сопротивленіе.

Температурный коэффиціентъ представляетъ относительное увеличеніе сопротивленія на $+1°$.

	$10^4\sigma$	Темп. коэфф.
Серебро	0·016	+0·004
Мѣдь	0·017	0·004
Цинкъ	0·061	0·004
Желѣзо	отъ 0·09 до 0·15	0·005
Платина, чистая	0·11	0·004
„ продажная	0·014	0·003
Свинецъ	0·21	0·004
Ртуть	0·958	0·0009
Латунь	отъ 0·07 до 0·09	0·002
20% платина-серебро	0·20	0·00033
Нейзильберъ	отъ 0·16 до 0·40	отъ $0{\cdot}0_3 6$ до $0{\cdot}0_3 23$
Патентникель	0·33	+0·0002
Константанъ	0·49	0
Манганинъ	0·42	0
Ретортный уголь	около 50	отъ $-0{\cdot}0_3 2$ до $-0{\cdot}0_3 8$

21. Электропроводность водныхъ растворовъ при 18°

Проценты означаютъ число вѣсовыхъ частей растворённаго тѣла въ 100 вѣсовыхъ частяхъ раствора. Соли предполагаются безводными.

κ — электропроводность при 18° въ *омъ*$^{-1}$ *см*$^{-1}$; ср. стр. 232.

$\Delta\kappa$ представляетъ приращеніе κ на $+1°$ въ процентахъ κ_{18}.

Растворъ	KCl		NH_4Cl		$NaCl$		$MgSO_4$		$CuSO_4$		$ZnSO_4$		H_2SO_4		HNO_3	
	κ	$\Delta\kappa$	κ	$\Delta\kappa$	κ	$\Delta\kappa$	κ	$\Delta\kappa$	κ	$\Delta\kappa$	κ	$\Delta\kappa$	κ	$\Delta\kappa$	κ	$\Delta\kappa$
5%	0·069	2·0	·092	2·0	·067	2·2	·026	2·3	·019	2·2	·019	2·2	·209	1·21	·258	1·50
10	·136	1·9	·178	1·9	·121	2·1	·041	2·4	·032	2·2	·032	2·2	·392	1·28	·461	1·45
15	·202	1·8	·259	1·7	·164	2·1	·048	2·5	·042	2·3	·042	2·3	·543	1·36	·613	1·40
20	·268	1·7	·337	1·6	·196	2·2	·048	2·7			·047	2·4	·653	1·45	·711	1·33
25			·403	1·5	·214	2·3	·042	2·9			·048	2·6	·717	1·54	·770	1·38
30											·044	2·7	·740	1·62	·785	1·39
35													·724	1·70	·769	1·43
40													·680	1·78	·733	1·49
50													·541	1·93	·631	1·6
60													·373	2·13	·513	1·6
70													·216	2·56	·396	1·5
80													·111	3·49	·267	1·3
Max.							·0492				·0481		·740		785	
при							17·4%				23·5%		30·0%		29·7%	

22. Предѣльныя электролитическія подвижности іоновъ въ разбавленныхъ водныхъ растворахъ при 18⁰ (стр. 238)

Катіоны				Аніоны	
H	318	$\frac{1}{2}$Ba	56	OH	174
K	65	$\frac{1}{2}$Sr	52	Cl	65
Na	44	$\frac{1}{2}$Ca	52	Br, J	67
Li	33	$\frac{1}{2}$Mg	46	NO_3	62
NH_4	64	$\frac{1}{2}$Zn	47	$C_2H_3O_2$	35
Ag	54	$\frac{1}{2}$Cu	47	$\frac{1}{2}SO_4$	68

23. Земной магнитизмъ въ средней Европѣ для 1906

Среднее годовое измѣненіе: горизонтальной составляющей +0·00025 CGS, склоненія — 0·07⁰, наклоненія — 0·03⁰.

Горизонтальная составляющая въ единицахъ CGS или гауссахъ

Сѣверн. широта	Долгота къ востоку отъ Гринвича 2⁰	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
45⁰	0·215	0·216	0·218	0·219	0·220	0·222	0·223	0·224	0·226	0·227	0·228
46	210	212	213	215	216	217	219	220	221	222	223
47	206	207	209	210	211	213	214	215	216	217	218
48	201	203	204	205	207	208	209	210	212	213	214
49	197	198	200	201	202	203	205	206	207	208	209
50	192	194	195	196	198	199	200	202	203	204	205
51	188	190	191	192	193	195	196	197	199	200	201
52	184	185	187	188	189	190	192	193	194	196	197
53	180	181	183	184	185	186	188	189	191	192	193
54	176	177	178	180	181	182	183	184	186	187	188
55	172	173	175	176	177	178	179	180	181	182	183

Западное склоненіе

Сѣверн. широта	Долгота къ востоку отъ Гринвича 5⁰	6	7	8	9	10	11	12	13
45⁰	12·5⁰	12·1	11·7	11·4	11·0	10·5	10·1	9·6	9·2
50	13·3	12·9	12·4	11·9	11·4	11·0	10·5	10·1	9·5
55	14·1	13·6	13·1	12·4	11·8	11·3	10·7	10·2	9·6
	14⁰	15	16	17	18	19	20	21	22
45	8·9⁰	8·5	8·0	7·5	7·1	6·6	6·2	5·8	5·3
50	9·0	8·5	8·0	7·5	7·0	6·6	6·1	5·6	5·1
55	9·0	8·5	8·0	7·5	7·0	6·5	5·8	5·1	4·1

Наклоненіе

Сѣверн. широта	Долгота къ востоку отъ Гринвича 5⁰	10	15	20
45⁰	61·3⁰	60·8⁰	60·2⁰	59·7⁰
50	65·3	64·8	64·3	64·0
55	68·8	68·3	68·0	67·6

24. Атомные вѣса (Кислородъ = 16·00)

Азотъ	N	14·04	Мѣдь	Cu	63·6
Алюминій	Al	27·1	Натрій	Na	23·05
Барій	Ba	137·4	Никель	Ni	58·7
Боръ	B	11·0	Олово	Sn	119·0
Бромъ	Br	79·96	Платина	Pt	194·8
Водородъ	H	1·008	Ртуть	Hg	200·0
Желѣзо	Fe	55·9	Свинецъ	Pb	206·9
Золото	Au	197·2	Серебро	Ag	107·93
Іодъ	J	126·97	Стронцій	Sr	87·6
Кадмій	Cd	112·4	Сѣра	S	32·06
Калій	K	39·15	Углеродъ	C	12·00
Кальцій	Ca	40·1	Фосфоръ	P	31·0
Кислородъ	O	16·00	Фторъ	F	19·0
Кремній	Si	28·4	Хлоръ	Cl	35·45
Литій	Li	7·03	Хромъ	Cr	52·1
Магній	Mg	24·36	Цинкъ	Zn	65·4
Марганецъ	Mn	55·0			

25. Географическое положеніе и высота надъ уровнемъ моря нѣкоторыхъ мѣстъ

Вост. геогр. долгота отъ Ферро больше на 17·66°.

	Вост. Гринв.	Сѣверн. широта	Надъ моремъ		Вост. Гринв.	Сѣверн. широта	Надъ моремъ
	°	°	м		°	°	м
Ахенъ [1]	6·1	50·78	180	Іена	11·6	50·94	160
Амстердамъ	4·9	52·37		Казань	49·1	55·79	70
Базель	7·6	47·56	260	Кассель	9·5	51·32	160
Берлинъ	13·4	52·50	40	Кёльнъ	7·0	50·94	40
Бернъ	7·4	46·95	550	Кёнигсбергъ	20·5	54·71	
Боннъ	7·1	50·73	50	Кіевъ	30·5	50·45	180
Брауншвейгъ	10·5	52·27	100	Копенгагенъ	12·6	55·69	
Бременъ	8·8	53·08		Лейпцигъ	12·4	51·34	100
Бреславль	17·0	51·11	130	Мадридъ	− 3·7	40·41	660
Брюссель	4·4	50·85	90	Миланъ	9·2	45·47	130
Варшава	21·0	52·22	110	Москва	37·6	55·76	140
Вашингтонъ	−77·0	38·89		Мюнхенъ	11·6	48·15	530
Вѣна	16·4	48·23	180	Одесса	30·8	46·48	50
Галле	12·0	51·49	100	Парижъ	2·3	48·83	60
Гамбургъ	10·0	53·55		Петербургъ	30·3	59·94	
Ганноверъ	9·7	52·38	70	Пештъ	19·1	47·50	70
Гейдельбергъ	8·7	49·41	100	Прага	14·4	50·09	200
Гельсингфорсъ	25·0	60·16		Рига	24·1	56·94	
Гиссенъ	8·6	50·59	140	Римъ	12·4	41·90	30
Грацъ	15·4	47·08	360	Стокгольмъ	18·1	59·34	
Грейфсвальдъ	13·4	54·10		Страсбургъ	7·8	48·58	150
Гринвичъ	0·0	51·48		Ташкентъ	69·3	41·33	460
Данцигъ	18·7	54·35		Тифлисъ	44·8	41·68	490
Дармштадтъ	8·7	49·87	140	Харьковъ	36·2	50·00	140
Дерптъ	26·7	58·38	50	Цюрихъ [2]	8·6	47·38	460
Дрезденъ	13·7	51·04	100	Штутгартъ	9·2	48·78	270
Инсбрукъ	11·4	47·27	570	Эрлангенъ	11·0	49·60	320

[1]) 160—200 *м* [2]) 420—500 *м*

26. Склоненіе солнца, уравненіе времени и звѣздное время для средняго полдня на 15 меридіанѣ къ востоку отъ Гринвича (общее время для средней Европы). См. еще табл. 27.

Звѣздное время въ полдень возрастаетъ въ сутки на 3 *мин* 56·6 *сек* = 236·6 *сек*.

Среднее мѣстное время = солнечное время + уравненіе времени.

* Числа въ скобкахъ относятся къ високоснымъ годамъ.

*	Склоненіе солнца °	Разница въ сутки °	Уравненіе времени м с	Звѣздное время въ полдень ч м с
Янв. 0 (1)	—23·10	·092	+ 3 15	18 38 42
5 (6)	—22·64	·130	5 34	58 24
10 (11)	—21·99	·166	7 42	19 18 7
15 (16)	—21·16	·200	9 36	37 50
20 (21)	—20·16	·230	11 13	57 33
25 (26)	—19·01	·260	12 33	20 17 16
30 (31)	—17·71	·288	13 32	36 58
Февр. 4 (5)	—16·27	·308	14 10	56 41
9 (10)	—14·73	·330	14 27	21 16 24
14 (15)	—13·08	·348	14 25	36 7
19 (20)	—11·34	·364	14 5	55 49
24 (25)	— 9·52	·374	13 28	22 15 32
Мартъ 1	— 7·65	·384	12 36	35 15
6	— 5·73	·390	11 31	54 58
11	— 3·78	·394	10 15	23 14 41
16	— 1·81	·394	8 52	34 23
21	+ 0·16	·394	7 23	54 6
26	2·13	·390	5 52	0 13 49
31	4·08	·384	4 19	33 32
Апр. 5	6·00	·374	2 49	53 14
10	7·87	·364	1 23	1 12 57
15	9·69	·352	+ 0 4	32 40
20	11·45	·334	— 1 5	52 23
25	13·12	·318	— 2 4	2 12 5
30	14·71	·296	— 2 52	31 48
Май 5	16·19	·276	— 3 27	51 31
10	17·57	·250	— 3 48	3 11 14
15	18·82	·224	— 3 53	30 57
20	19·94	·196	— 3 45	50 39
25	20·92	·164	— 3 23	4 10 22
30	21·74	·136	— 2 49	30 5
Іюнь 4	22·42	·100	— 2 4	49 48
9	22·92	·068	— 1 11	5 9 30
14	23·26	·034	— 0 10	29 13
19	23·43	·000	+ 0 55	48 56
24	23·43	·034	+ 2 0	6 8 39
29	+23·26	·068	+ 3 2	6 28 22

	Склоненіе солнца °	Разница въ сутки °	Уравненіе времени м с	Звѣздное время въ полдень ч м с
		·068		
Іюль 4	+22·92	·102	+ 4 0	6 48 4
9	22·41	·136	4 49	7 7 47
14	21·73	·164	5 29	27 30
19	20·91	·194	5 58	47 13
24	19·94	·222	6 13	8 6 56
29	18·83	·248	6 13	26 38
Авг. 3	17·59	·272	5 57	46 21
8	16·23	·294	5 27	9 6 4
13	14·76	·314	4 42	25 47
18	13·19	·330	3 44	45 29
23	11·54	·346	2 33	10 5 12
28	9·81	·360	+ 1 11	24 55
Сент. 2	8·01	·370	— 0 20	44 38
7	6·16	·378	— 1 59	11 4 21
12	4·27	·384	— 3 41	24 3
17	2·35	·390	— 5 26	43 46
22	+ 0·40	·390	— 7 12	12 3 29
27	— 1·55	·388	— 8 55	23 12
Окт. 2	— 3·49	·386	—10 34	42 54
7	— 5·42	·380	—12 4	13 2 37
12	— 7·32	·374	—13 24	22 20
17	— 9·19	·360	—14 31	42 3
22	—10·99	·348	—15 23	14 1 45
27	—12·73	·330	—16 0	21 28
Ноябрь 1	—14·38	·312	—16 18	41 11
6	—15·94	·288	—16 16	15 0 54
11	—17·38	·266	—15 52	20 37
16	—18·71	·236	—15 7	40 19
21	—19·89	·206	—14 2	16 0 2
26	—20·92	·174	—12 36	19 45
Дек. 1	—21·79	·140	—10 53	39 28
6	—22·49	·102	— 8 54	59 10
11	—23·00	·064	— 6 40	17 18 53
16	—23·32	·026	— 4 17	38 36
21	—23·45	·012	— 1 49	58 19
26	—23·39	·054	+ 0 41	18 18 2
31	—23·12		+ 3 8	18 37 44

27. Таблица поправокъ для начала года

Годъ	Поправка
	сутки
1904	+ 0·00
1905	— 0·24
1906	— 0·48
1907	— 0·72
1908	+ 0·03
1909	— 0·21
1910	— 0·45
1911	— 0·69
1912	+ 0·06
1913	— 0·18
1914	— 0·42

28. Средняя рефракція свѣтила

Высота	Рефракція
0	0
5	0·16
7	0·12
10	0·09
15	0·06
20	0·044
30	0·028
40	0·019
50	0·013
60	0·009
70	0·006
80	0·003
90	0·000

29. Различныя числа

$\pi = 3{\cdot}1416$; $\pi^2 = 9{\cdot}8696$; $1/\pi = 0{\cdot}31831$; $\lg \pi = {\cdot}49715$.

Основаніе натуральныхъ логариѳмовъ $e = 2{\cdot}7183$; $\lg e = {\cdot}43429$.

Уголъ, дуга котораго равна радіусу,

$= 57{\cdot}296^0 = 3437{\cdot}7' = 206265''$.

1 парижскій футъ (12″; 144‴) = 0·32484 *м*; 1 геогр. миля = 7·4204 *км*;

1 рейнскій футъ (12″; 144‴) = 0·31385 *м*; 1 морская миля = 1·852 *км*;

1 англ. футъ (12″; 120‴) = 0·30479 *м*; 1 англ. миля = 1·609 *км*;

1 англ. фунтъ (a. d. p.) = 16 унцъ = 256 драхмъ = 453·6 *г*;

1 тонна = 2240 фунтовъ.

Средній радіусъ земли = 6367·4 *км*.

Средняя продолжительность гражд. года = 365 сутокъ 5 часовъ 48·8 минутъ.

Скорость звука въ сухомъ воздухѣ при 0^0 = 331 *м/сек*.

Коэффиціентъ расширенія газовъ = 0·00367 ($^1/_{273}$).

1 *г*-вѣсъ подъ 45^0 широты = 980·6 дины.

1 атмосфера = 1033 *г*-вѣсъ/*см*^{2} = 1013200 динъ/*см*^{2}.

1 водяная *г*-калорія = 427 *г*-вѣсъ × *м* = 41900000 динъ × *см* или эрговъ.

1 вольтъ-амперъ или ваттъ = 10^7 эрговъ/*сек* = 0·102 *м* × *кг*-вѣсъ/*сек* =

= 0·00136 лошад. силы = 0·239 водяной *г*-калорій/*сек*.

Теплота плавленія льда = 80·0; теплота парообразованія воды = 539 калорій.

Удѣльная теплота воздуха при постоянномъ давленіи = 0·238.

Отношеніе уд. теплотъ для воздуха или водорода = 1·40.

Капилярная постоянная: воды 7·7, алкоголя 2·4, ртути 50 *мг*-вѣсъ/*мм*.

Отношеніе молекулярнаго вѣса къ плотности пара = 28·95.

Скорость свѣта въ пустотѣ = 300000 *км/сек*.

30. Логариѳмы

N.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Diff.
10	0000	0043	0086	0128	0170	0212	0253	0294	0334	0374	42
11	0414	0453	0492	0531	0569	0607	0645	0682	0719	0755	38
12	0792	0828	0864	0899	0934	0969	1004	1038	1072	1106	35
13	1139	1173	1206	1239	1271	1303	1335	1367	1399	1430	32
14	1461	1492	1523	1553	1584	1614	1644	1673	1703	1732	30
15	1761	1790	1818	1847	1875	1903	1931	1959	1987	2014	28
16	2041	2068	2095	2122	2148	2175	2201	2227	2253	2279	26
17	2304	2330	2355	2380	2405	2430	2455	2480	2504	2529	25
18	2553	2577	2601	2625	2648	2672	2695	2718	2742	2765	24
19	2788	2810	2833	2856	2878	2900	2923	2945	2967	2989	22
20	3010	3032	3054	3075	3096	3118	3139	3160	3181	3201	21
21	3222	3243	3263	3284	3304	3324	3345	3365	3385	3404	20
22	3424	3444	3464	3483	3502	3522	3541	3560	3579	3598	19
23	3617	3636	3655	3674	3692	3711	3729	3747	3766	3784	19
24	3802	3820	3838	3856	3874	3892	3909	3927	3945	3962	18
25	3979	3997	4014	4031	4048	4065	4082	4099	4116	4133	17
26	4150	4166	4183	4200	4216	4232	4249	4265	4281	4298	16
27	4314	4330	4346	4362	4378	4393	4409	4425	4440	4456	16
28	4472	4487	4502	4518	4533	4548	4564	4579	4594	4609	15
29	4624	4639	4654	4669	4683	4698	4713	4728	4742	4757	15
30	4771	4786	4800	4814	4829	4843	4857	4871	4886	4900	14
31	4914	4928	4942	4955	4969	4983	4997	5011	5024	5038	14
32	5051	5065	5079	5092	5105	5119	5132	5145	5159	5172	13
33	5185	5198	5211	5224	5237	5250	5263	5276	5289	5302	13
34	5315	5328	5340	5353	5366	5378	5391	5403	5416	5428	13
35	5441	5453	5465	5478	5490	5502	5514	5527	5539	5551	12
36	5563	5575	5587	5599	5611	5623	5635	5647	5658	5670	12
37	5682	5694	5705	5717	5729	5740	5752	5763	5775	5786	12
38	5798	5809	5821	5832	5843	5855	5866	5877	5888	5899	11
39	5911	5922	5933	5944	5955	5966	5977	5988	5999	6010	11
40	6021	6031	6042	6053	6064	6075	6085	6096	6107	6117	11
41	6128	6138	6149	6160	6170	6180	6191	6201	6212	6222	10
42	6232	6243	6253	6263	6274	6284	6294	6304	6314	6325	10
43	6335	6345	6355	6365	6375	6385	6395	6405	6415	6425	10
44	6435	6444	6454	6464	6474	6484	6493	6503	6513	6522	10
45	6532	6542	6551	6561	6571	6580	6590	6599	6609	6618	10
46	6628	6637	6646	6656	6665	6675	6684	6693	6702	6712	9
47	6721	6730	6739	6749	6758	6767	6776	6785	6794	6803	9
48	6812	6821	6830	6839	6848	6857	6866	6875	6884	6893	9
49	6902	6911	6920	6928	6937	6946	6955	6964	6972	6981	9
50	6990	6998	7007	7016	7024	7033	7042	7050	7059	7067	9
51	7076	7084	7093	7101	7110	7118	7126	7135	7143	7152	8
52	7160	7168	7177	7 85	7193	7202	7210	7218	7226	7235	8
53	7243	7251	7259	7267	7275	7284	7292	7300	7308	7316	8
54	7324	7332	7340	7348	7356	7364	7372	7380	7388	7396	8
55	7404	7412	7419	7427	7435	7443	7451	7459	7466	7474	8
56	7482	7490	7497	7505	7513	7520	7528	7536	7543	7551	8
57	7559	7566	7574	7582	7589	7597	7604	7612	7619	7627	8
58	7634	7642	7649	7657	7664	7672	7679	7686	7694	7701	7
59	7709	7716	7723	7731	7738	7745	7752	7760	7767	7774	7
60	7782	7789	7796	7803	7810	7818	7825	7832	7839	7846	7
.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Diff.

Логариѳмы

N.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Diff.
60	7782	7789	7796	7803	7810	7818	7825	7832	7839	7846	7
61	7853	7860	7868	7875	7882	7889	7896	7903	7910	7917	7
62	7924	7931	7938	7945	7952	7959	7966	7973	7980	7987	7
63	7993	8000	8007	8014	8021	8028	8035	8041	8048	8055	7
64	8062	8069	8075	8082	8089	8096	8102	8109	8116	8122	7
65	8129	8136	8142	8149	8156	8162	8169	8176	8182	8189	7
66	8195	8202	8209	8215	8222	8228	8235	8241	8248	8254	7
67	8261	8267	8274	8280	8287	8293	8299	8306	8312	8319	6
68	8325	8331	8338	8344	8351	8357	8363	8370	8376	8382	6
69	8388	8395	8401	8407	8414	8420	8426	8432	8439	8445	6
70	8451	8457	8463	8470	8476	8482	8488	8494	8500	8506	6
71	8513	8519	8525	8531	8537	8543	8549	8555	8561	8567	6
72	8573	8579	8585	8591	8597	8603	8609	8615	8621	8627	6
73	8633	8639	8645	8651	8657	8663	8669	8675	8681	8686	6
74	8692	8698	8704	8710	8716	8722	8727	8733	8739	8745	6
75	8751	8756	8762	8768	8774	8779	8785	8791	8797	8802	6
76	8808	8814	8820	8825	8831	8837	8842	8848	8854	8859	6
77	8865	8871	8876	8882	8887	8893	8899	8904	8910	8915	6
78	8921	8927	8932	8938	8943	8949	8954	8960	8965	8971	6
79	8976	8982	8987	8993	8998	9004	9009	9015	9020	9025	5
80	9031	9036	9042	9047	9053	9058	9063	9069	9074	9079	5
81	9085	9090	9096	9101	9106	9112	9117	9122	9128	9133	5
82	9138	9143	9149	9154	9159	9165	9170	9175	9180	9186	5
83	9191	9196	9201	9206	9212	9217	9222	9227	9232	9238	5
84	9243	9248	9253	9258	9263	9269	9274	9279	9284	9289	5
85	9294	9299	9304	9309	9315	9320	9325	9330	9335	9340	5
86	9345	9350	9355	9360	9365	9370	9375	9380	9385	9390	5
87	9395	9400	9405	9410	9415	9420	9425	9430	9435	9440	5
88	9445	9450	9455	9460	9465	9469	9474	9479	9484	9489	5
89	9494	9499	9504	9509	9513	9518	9523	9528	9533	9538	5
90	9542	9547	9552	9557	9562	9566	9571	9576	9581	9586	5
91	9590	9595	9600	9605	9609	9614	9619	9624	9628	9633	5
92	9638	9643	9647	9652	9657	9661	9666	9671	9675	9680	5
93	9685	9689	9694	9699	9703	9708	9713	9717	9722	9727	5
94	9731	9736	9741	9745	9750	9754	9759	9763	9768	9773	5
95	9777	9782	9786	9791	9795	9800	9805	9809	9814	9818	5
96	9823	9827	9832	9836	9841	9845	9850	9854	9859	9863	5
97	9868	9872	9877	9881	9886	9890	9894	9899	9903	9908	4
98	9912	9917	9921	9926	9930	9934	9939	9943	9948	9952	4
99	9956	9961	9965	9969	9974	9978	9983	9987	9991	9996	4
100	**0** 0000	0043	0087	0130	0173	0217	0260	0303	0346	0389	43
101	**0** 0432	0475	0518	0561	0604	0647	0689	0732	0775	0817	43
102	**0** 0860	0903	0945	0988	1030	1072	1115	1157	1199	1242	42
103	**0** 1284	1326	1368	1410	1452	1494	1536	1578	1620	1662	42
104	**0** 1703	1745	1787	1828	1870	1912	1953	1995	2036	2078	42
105	**0** 2119	2160	2202	2243	2284	2325	2366	2407	2449	2490	41
106	**0** 2531	2572	2612	2653	2694	2735	2776	2816	2857	2898	41
107	**0** 2938	2979	3019	3060	3100	3141	3181	3222	3262	3302	40
108	**0** 3342	3383	3423	3463	3503	3543	3583	3623	3663	3703	40
109	**0** 3743	3782	3822	3862	3902	3941	3981	4021	4060	4100	40
110	**0** 4139	4179	4218	4258	4297	4336	4376	4415	4454	4493	39
N.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Diff.

31. Тригонометрическія числа

	Sinus		Tangens		Cotangens		Cosinus		
↓ 0°	0·0000		0·0000		∞		1·0000		90° ↑
1	·0175	175	·0175	175	57·29		0·9998	02	89
2	·0349	174	·0349	174	28·64		·9994	04	88
3	·0523	174	·0524	175	19·08		·9986	08	87
4	·0698	175	·0699	175	14·30		·9976	10	86
5	·0872	174	·0875	176	11·43		·9962	14	85
6	·1045	173	·1051	176	9·514		·9945	17	84
7	·1219	174	·1228	177	8·144		·9925	20	83
8	·1392	173	·1405	177	7·115		·9903	22	82
9	·1564	172	·1584	179	6·314	801	·9877	26	81
10	·1736	172	·1763	179	5·671	643	·9848	29	80
11	·1908	172	·1944	181	5·145	526	·9816	32	79
12	·2079	171	·2126	182	4·705	440	·9781	35	78
13	·2250	171	·2309	183	4·331	374	·9744	37	77
14	·2419	169	·2493	184	4·011	320	·9703	41	76
15	·2588	169	·2679	186	3·732	279	·9659	44	75
16	·2756	168	·2867	188	3·487	245	·9613	46	74
17	·2924	168	·3057	190	3·271	216	·9563	50	73
18	·3090	166	·3249	192	3·078	193	·9511	52	72
19	·3256	166	·3443	194	2·904	174	·9455	56	71
20	·3420	164	·3640	197	2·747	157	·9397	58	70
21	·3584	164	·3839	199	2·605	142	·9336	61	69
22	·3746	162	·4040	201	2·475	130	·9272	64	68
23	·3907	161	·4245	205	2·356	119	·9205	67	67
24	·4067	160	·4452	207	2·246	110	·9135	70	66
25	·4226	159	·4663	21	2·145	101	·9063	72	65
26	·4384	158	·4877	214	2·050	95	·8988	75	64
27	·4540	156	·5095	218	1·963	87	·8910	78	63
28	·4695	155	·5317	222	1·881	82	·8829	81	62
29	·4848	153	·5543	226	1·804	77	·8746	83	61
30	·5000	152	·5774	231	1·732	72	·8660	86	60
31	·5150	150	·6009	235	1·664	68	·8572	88	59
32	·5299	149	·6249	240	1·600	64	·8480	92	58
33	·5446	147	·6494	245	1·540	60	·8387	93	57
34	·5592	146	·6745	251	1·483	57	·8290	97	56
35	·5736	144	·7002	257	1·428	55	·8192	98	55
36	·5878	142	·7265	263	1·376	52	·8090	102	54
37	·6018	140	·7536	271	1·327	49	·7986	104	53
38	·6157	139	·7813	277	1·280	47	·7880	106	52
39	·6293	136	·8098	285	1·235	45	·7771	109	51
40	·6428	135	·8391	293	1·192	43	·7660	111	50
41	·6561	133	·8693	302	1·150	42	·7547	113	49
42	·6691	130	·9004	311	1·111	39	·7431	116	48
43	·6820	129	·9325	321	1·072	39	·7314	117	47
44	·6947	127	·9657	332	1·036	36	·7193	121	46
↓ 45°	·7071	124	1·0000	343	1·000	36	·7071	122	45° ↑
	Cosinus		Cotangens		Tangens		Sinus		

АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

(Римскими цифрами обозначены таблицы)

Замѣченныя опечатки

Стран.	*Строка*	*Напечатано*	*Слѣдуетъ*
80	5 сн.	Горизонтальная ось.	2. Горизонтальная ось.
104	7 "	Жолли	Жоли
110	11 "	Методъ вытѣсненiя.	2. Методъ вытѣсненiя.

Кромѣ того слѣдуетъ выбросить строку 7 сверху стр. 88.





ЧИСТАЯ и ПРИКЛАДНАЯ МАТЕМАТИКА

АДЛЕРЪ, А. **Теорія геометрическихъ построеній.** Переводъ съ нѣмецкаго подъ ред. прив.-доц. *С. О. Шатуновскаго.* XXIV+325 стр. 8⁰. Съ 177 рис. 1910. Ц. 2 р. 25 к.

Предлагаемая вниманію читателей книга А. Адлера представляетъ крупнѣйшій интересъ во многихъ отношеніяхъ... *Педагогическій Сборникъ.*

АППЕЛЬ, П. проф. и ДОТЕВИЛЛЬ, С. проф. **Курсъ теоретической механики.** Введеніе въ изученіе физики и прикладной механики. Пер. съ фр. І. Левинтова подъ ред. прив.-доц. *С. О. Шатуновскаго.*

Вып. I (механика точки и геометрія массъ). XV+385 стр. 8⁰. Съ 136 черт. 1912. Ц. 2 р. 50 к.

Вып. II (механика системы). XV+359 стр. 8⁰. Съ 87 черт. 1912. Ц. 2 р. 50 к.

Книга по содержащемуся въ ней матеріалу соотвѣтствуетъ университетскому курсу теоретической механики и представляетъ собой сокращенную переработку обширнаго трехтомнаго трактата *П. Аппеля* по теоретической механикѣ.

АРХИМЕДЪ, ГЮЙГЕНСЪ, ЛЕЖАНДРЪ, ЛАМБЕРТЪ. **О квадратурѣ круга.** Съ приложеніемъ исторіи вопроса, составл. проф. Ф. РУДІО. (*Библ. класс.*). Пер. съ нѣм. подъ ред. прив.-доц. *С. Бернштейна.* VIII+155 стр. 8⁰ Съ 21 черт. 1911. Ц. 1 р. 20 к.

... является едва ли не единственной, столь полно разсматривающей задачу о квадратурѣ круга. *Природа и Люди.*

БОЛЬЦАНО, Б. **Парадоксы безконечнаго.** (*Библ клас.*). Перев. съ нѣм. подъ ред. проф. *И. В. Слешинскаго.* VIII+120 стр. 8⁰. Съ 12 черт. 1911. Ц. 80 к.

... представляетъ собой одну изъ первыхъ попытокъ строго математическаго обоснованія понятія о безконечности и его разновидностяхъ. *Педагогическій Сборникъ*

БОРЕЛЬ, Э. проф. **Элементарная математика.** Въ обработкѣ проф. *В. Штеккеля.* Пер. съ нѣм. подъ ред. и съ дополненіями прив.-доц. *В. Ф. Кагана.*

Ч. I. Ариѳметика и Алгебра. LXIV+434 стр. 8⁰. 1911. Ц. 3 р.

Ч. II. Геометрія. VIII+332 стр. 8⁰. Съ 403 черт. 1912. Ц. 2 р.

Переводъ сочиненія Бореля является весьма цѣннымъ вкладомъ въ нашу элементарную математическую литературу. *Педагогическій Сборникъ.*

WEBER H., проф. и WELLSTEIN J., проф. **Энциклопедія элементарной математики.** Руководство для преподающихъ и изучающихъ элементарную математику. Пер. съ нѣм. подъ ред. и съ прим. прив.-доц. *В. Кагана.*

Томъ I. Элементарная алгебра и анализъ,* обраб. проф. *Веберомъ* XXIV+666 стр. больш. 8⁰. Съ 38 черт. *2-е изд.* 1911 г. Ц. 4 р.

Вы все время видите передъ собой мастера своего дѣла, который съ любовью показываетъ великія творенія человѣческой мысли, извѣстныя ему до тончайшихъ подробностей. *Педагогическій Сборникъ.*

Томъ II. Элементарная геометрія, составленная *Веберомъ, Вельштейномъ и Якобсталемъ.*

Книга I. **Основанія геометріи.*** Состав. *І. Вельштейнъ.* XII+360, стр. больш. 8⁰. Съ 142 черт. и 5 рис. *Изд. 2-е.* 1913. Ц. 3 р.

Особый интересъ представляетъ въ книгѣ г. Вельштейна своеобразное изложеніе не-эвклидовой геометріи, а также изложеніе проективной геометріи. *Жур. Мин. Н. Пр.*

---

*) *Изданія, отмѣченныя звѣздочкой, признаны Учен. Ком. Мин. Нар. Просв. подлежащими внесенію въ списокъ книгъ, заслуживающихъ вниманія при пополненіи ученическихъ библіотекъ средн. учебн. заведеній.*

Книга II и III. **Тригонометрія, аналитическая геометрія и стереометрія.** Составили *Г. Веберъ и В. Якобсталь.* VIII+321 стр. больш. 8⁰. **Съ 109 черт.** 1910. Ц. 2 р. 50 к.

ГЕЙБЕРГЪ, I. проф. **Новое сочиненіе Архимеда*.** Посланіе Архимеда къ Эратосѳену о нѣкоторыхъ вопросахъ механики. *(Библ. класс.).* Перев. съ нѣм. подъ ред. и съ предисл. прив.-доц. *И. Ю Тимченко.* XV+27 стр. 8⁰. Съ 15 рис. 1909. Ц. 40 к.

Математикамъ... будетъ весьма интересно познакомиться съ новой драгоцѣнной научной находкой... *Образованіе.*

ДЕДЕКИНДЪ, Р. проф. **Непрерывность и ирраціональныя числа.*** *(Библ. класс.).* Пер. съ нѣм. прив.-доц. *С. О. Шатуновскаго,* съ присоед. его статьи: „Доказательство существованія трансцендентныхъ чиселъ". *2-е изд.* 40 стр. 8⁰. 1909. Ц. 40 к.

Небольшой по объему, но, такъ сказать, законодательный по содержанію трудъ... *Русская Школа.*

ДЗIОБЕКЪ, О. проф. **Курсъ аналитической геометріи.** Пер. съ нѣм. подъ ред. и съ примѣч. проф. СПБ. высш. женск. курсовъ *Вѣры Шиффъ.*

Часть I. Аналитическая геометрія на плоскости. VIII+390 стр. 8⁰. Съ 87 черт. 1912. Ц. 2 р. 50 к.

Часть II. Аналитическая **геометрія въ пространствѣ.** VIII+356 стр. 8⁰. 36 черт. 1912. Ц. 2 р. 50 к.

Много задачъ, много упражненій, бездна матеріала и—научность изложенія. *Технич. и Коммерч. Образованіе.*

КАГАНЪ, В. прив.-доц. **Задача обоснованія геометріи въ современной постановкѣ.** Рѣчь, произнесенная при защитѣ диссертаціи на степень магистра чистой математики. 35 стр. 8⁰. Съ 11 черт. 1908. Ц. 35 к.

КАГАНЪ, В. прив.-доц. **О преобразованіи многогранниковъ.** Докладъ, прочитанный въ Общемъ Собраніи Перваго Всероссійскаго Съѣзда преподавателей математики. 27 стр. 8⁰. Съ 10 фиг. 1913. Ц. 35 к.

КАГАНЪ, В. прив.-доц. **Что такое алгебра?*** 72 стр. 16⁰. 1910. Ц. 40 к.

Книжка написана яснымъ простымъ языкомъ и, несомнѣнно, вызоветъ къ себѣ интересъ. *Русская Мысль.*

КЛЕЙНЪ, Ф. проф. **Вопросы элементарной и высшей математики.** Лекціи, читанныя для учителей. Пер. съ нѣм. подъ ред. и съ дополн. прив.-доц. *В. Ф. Кагана.* VIII+480 стр. 8⁰. 1912. Ц. 3 р.

Книги, подобныя труду Клейна, должны быть настольными: онѣ появляются рѣдко. *Технич. и Коммерч. Образованіе.*

КОВАЛЕВСКІЙ, Г. проф. **Введеніе въ исчисленіе безконечно-малыхъ.*** Пер. съ нѣм. подъ ред. и съ прим. прив. доц. *С. О. Шатуновскаго.* VIII+140 стр. 8⁰. Съ 18 черт. 1909. Ц. 1 р.

Книга проф. Ковалевскаго, несомнѣнно, прекрасное введеніе въ высшій анализъ. *Русская Школа.*

КОВАЛЕВСКІЙ, Г. проф. **Основы дифференціальнаго и интегральнаго исчисленій.** Пер. съ нѣм. подъ ред. прив.-доц. *С. О. Шатуновскаго.* VIII+496 стр. 8⁰. 1911. Ц. 3 р. 50 к.

Курсъ профессора бонскаго университета, несомнѣнно, является однимъ изъ лучшихъ по ясности и чрезвычайной строгости обоснованія одного изъ могущественныхъ методовъ современнаго анализа. *Современный Міръ.*

КУТЮРА, Л. **Алгебра логики.** Пер. съ фр. съ прибавленіями проф. *И. Слешинскаго.* IV+107+XIII стр. 8⁰. 1909. Ц. 90 к.

КЭДЖОРИ, Ф. проф. **Исторія элементарной математики** (съ указаніями на методы преподаванія)*. Пер. съ англ. подъ ред. и съ прим. прив.-доц. *И. Ю. Тимченко.* VIII+368 стр. 8⁰. Съ рис. 1910. Ц. 2 р. 50 к.

Книга читается съ большимъ интересомъ и весьма полезна... Мы настоятельно рекомендуемъ „Исторію элем. мат." Кэджори. *Вѣстникъ Воспитанія.*

ЛИТЦМАННЪ, В. **Теорема Пиѳагора** съ приложеніемъ нѣкоторыхъ свѣдѣній о теоремѣ **Ферма.** *(Библ. элем. мат. I).* Пер. съ нѣм. подъ общей ред. прив.-доц. *С. О. Шатуновскаго.* IV+80 стр. 16⁰. Съ 44 рис. 1912. Ц. 40 к.

МАРКОВЪ, А. акад. **Исчисленіе конечныхъ разностей.** Въ 2 частяхъ Изданіе 2-е, исправленное и дополненное. VIII+274 стр. 8⁰. 1911. Ц. 2 р. 25 к.

НЕТТО, Е. проф. **Начала теоріи опредѣлителей.** Пер. съ нѣм. подъ ред. и съ прим. прив.-доц. *С. О. Шатуновскаго.* VIII+156 стр. 8⁰. 1912. Ц. 1 р. 20 к.

ПУАНКАРЕ, Г. проф. **Наука и методъ.** Пер. съ франц. *И. Брусиловскаго* подъ ред. прив.-доц. *В. Кагана.* VIII+384 стр. 16⁰. 1910. Ц. 1 р. 50 к.

... книгу Пуанкаре можно рекомендовать особому вниманію преподавателей математики и естествознанія. *Вѣстникъ Воспитанія.*

РОУ, С. **Геометрическія упражненія съ кускомъ бумаги.** Пер. съ англ. XVI+173 стр. 16⁰. Съ 87 рис. 1910. Ц. 90 к.

Производитъ впечатлѣніе гармоничнаго цѣлаго и читается съ большимъ интересомъ. *Русская Школа.*

Русская математическая библіографія. Списокъ сочиненій по чистой и прикладн. математикѣ, напечатанныхъ въ Россіи. Подъ ред. проф. *Д. М. Синцова.*
Вып. I. За 1908 годъ. 76 стр. 8⁰. Ц. 60 коп.
Вып. II. За 1909 годъ. XVI+92 стр. 8⁰. Ц. 75 к.

ФИЛИППОВЪ, А .О. **Четыре ариѳметическія дѣйствія.** Числа натуральныя. VIII+88 стр. 8⁰. 1912. Ц. 70 к.

ФУРРЕ, Е. **Очеркъ исторіи элементарной геометріи.** (*Библ. элем мат II*). Пер. съ фр. подъ ред. прив.-доц. *С. Шатуновскаго.* 52 стр. 16⁰. Съ 5 рис. 1912. Ц. 30 к.

ФУРРЕ, Е. **Геометрическіе головоломки и паралогизмы.** (*Библ. элем. мат.* III). Пер. съ фр. подъ ред. прив.-доц. *С. Шатуновскаго.* 52 стр. 16⁰. Съ 83 рис. 1912. Ц. 30 к.

ЦИММЕРМАНЪ, В. проф. **Объемъ шара, шарового сегмента и шарового слоя.** 34 стр. 16⁰. Съ 6 черт. 1908. Ц. 25 к.

Распространеніе подобнаго рода элементарныхъ монографій среди учащихся весьма желательно. *Русская Школа.*

ЧЕЗАРО, Э. **Элементарный учебникъ алгебраическаго анализа и исчисленія безконечно малыхъ.** Пер. съ нѣм. подъ ред. проф. С.-П.-Б. универс. *К. А. Поссе.* Ч. I. XVIII+632 стр. 8⁰. Съ 26 черт. 1913. Ц. 5 р.

ШУБЕРТЪ, Г. проф. **Математическія развлеченія и игры.** Пер. съ нѣм. *I. Левинтова,* подъ ред., съ прим. и доб. *„В. О. Ф. и Эл. Мат."* XIV+358 стр. 16⁰. Со мног. табл. 1911. Ц. 1 р. 40 к.

Неутомимая идейная издательская фирма „Матезисъ"... выпустила въ свѣтъ превосходный переводъ превосходной книги... *Русская Школа.*

ФИЗИКА

АВРАГАМЪ, Г. проф. **Сборникъ элементарныхъ опытовъ по физикѣ.** *
Пер. съ франц. подъ ред. проф. *Б. П. Вейнберга.*
Часть I: XVI+272 стр. 8⁰. Свыше 300 рис. *2-е изд.* 1909. Ц. 1 р. 50 к.

Систематически составленный сводъ наиболѣе удачныхъ, типичныхъ и поучительныхъ опытовъ. *Вѣстникъ и Библіотека Самообразованія*

Часть II: 434+LXXV стр. 8⁰. Свыше 400 рис. *2-е изд.* 1910 г. Ц. 2 р. 75 к.

Мы надѣемся, что разбираемый трудъ станетъ настольной книгой каждой физической лабораторіи въ Россіи. *Русская Мысль.*

АУЭРБАХЪ, Ф. проф. **Царица міра и ея тѣнь.** * Общедост. изложеніе основ. ученія объ **энергіи и энтропіи.** Пер. съ нѣм. VIII+50 стр. 8⁰. *6-е изд.* 1913. Ц. 40 к.

Слѣдуетъ признать брошюру Ауэрбаха чрезвычайно интересной. *Ж. М. Н. Пр.*

БРАУНЪ, Ф. проф. **Мои работы по безпроволочной телеграфіи и по электрооптикѣ.** Рѣчь, произн. по случаю полученія Нобелевской преміи, съ дополн. автора. Пер. съ рукоп. *Л. Мандельштама* и *Н. Папалекси,* со вступительной статьей перев. одч. XIV+92 стр. 16⁰. Съ 25 рис. и портр. авт. 1911. Ц. 70 к.

Проф. Браунъ излагаетъ свои работы, заключающіяся въ изобрѣтеніи и усовершенствованіи очень важныхъ для телеграфіи приборовъ... *Естествозн. и Географія.*

БРУНИ, К. проф. **Твердые растворы***. Пер. съ итал. подъ ред. „*Вѣстн. Оп. Физ. и Эл. Мат.*" 37 стр. 16⁰. 1909. Ц. 25 к.

Изъ брошюры К. Бруни читатель выноситъ много цѣнныхъ свѣдѣній въ сферѣ затронутыхъ вопросовъ. *Физикъ-Любитель*

ВЕТГЭМЪ, В. проф. **Современное развитіе физики***. Пер. съ англ. подъ ред. проф. *Б. П. Вейнберга* и прив.-доц. *А. Р. Орбинскаго*. Съ Прилож. рѣчи *А. Бальфура*. **Нѣсколько мыслей о новой теоріи вещества.** VIII+277 стр. 8⁰. Съ 5 порт. и 39 рис. *2-е изд.* 1912. Ц. 2 р.

...рисуетъ читателю дѣйствительно захватывающую картину грандіозныхъ завоеваній человѣческаго генія. *Современный Міръ*.

ВЕЙНБЕРГЪ, Б. П. проф. **Снѣгъ, иней, градъ, ледъ и ледники***. IV+127 стр. 8⁰. Съ 137 рис. и 2 фототип. таб. 1909. Ц. 1 р.

„Mathesis" можетъ гордиться этимъ изданіемъ. *Ж. М. Н. Пр.*

ВИНЕРЪ, О. проф. **О цвѣтной фотографіи и родственныхъ ей естественно-научныхъ вопросахъ***. Пер. съ нѣм. подъ ред. проф. *Н. П. Кастерина*. VI+69 стр. 8⁰. Съ 3 цвѣт. табл. 1911. Ц. 60 к.

Все это дѣлаетъ книгу интересной какъ для лицъ, желающихъ только ознакомиться съ явленіями цвѣтной фотографіи, такъ и для лицъ, серьезно заинтересованныхъ этимъ вопросомъ. *Естествознаніе и Географія*.

ГЕРНЕТЪ, В. А. **Объ единствѣ вещества.** 46 стр. 16⁰. Ц. 25 к.

ЗЕЕМАНЪ, П. проф. **Происхожденіе цвѣтовъ спектра** Съ прил. статьи *В. Ритца* „Линейные спектры и строеніе атомовъ". Пер. съ нѣм. 50 стр. 16⁰. Ц. 30 к.

... Книжка, принадлежащая перу одного изъ извѣстныхъ ученыхъ нашей эпохи... *Русская Мысль*.

КАЙЗЕРЪ Г. проф. **Развитіе современной спектроскопіи***. Пер. съ нѣм. подъ ред. „*Вѣстн. Оп. Ф. и Эл. М.*" 45 стр. 16⁰. 1910. Ц. 25 к.

Одинъ изъ лучшихъ обзоровъ... Онъ содержитъ, въ сжатомъ видѣ, исторію открытія спектральнаго анализа и дальнѣйшаго ея развитія до нашихъ дней. *Журн. Мин. Н. Пр.*

КЛОССОВСКІЙ, А. заслуж. проф. **Основы метеорологіи.*** XVI+527 стр. больш. 8⁰. Съ 199 рис., 2 цвѣтн. и 3 черн. табл. 1910. Ц. 4 р.

Честь и слава „Mathesis" за изданіе этой прекрасной книги, которою можетъ гордиться русская наука. *Ж. М. Н. Пр.*

КЛОССОВСКІЙ, А. заслуж. проф. **Современное состояніе вопроса о предсказаніи погоды.** 52 стр. 8⁰. Съ 4 черт. 1913. Ц. 40 к.

КЛОССОВСКІЙ А. заслуж. проф. **Физическая жизнь нашей планеты на основаніи современныхъ воззрѣній.*** 46 стр. 8⁰. 2-е изданіе, испр. и дополн. 1908. Ц. 40 к.

Рѣдко можно встрѣтить изложеніе, въ которомъ въ такой степени соединялась бы высокая научная эрудиція съ картинностью и увлекательностью рѣчи. *Педагогическій Сборникъ*.

КОНЪ, Э. проф. и ПУАНКАРЕ, Г., акад. **Пространство и время съ точки зрѣнія физики.** Пер. подъ ред. „*Вѣстн. Оп. Физ. и Эл. Мат.*". 81 стр. 16⁰. Съ 11 рис. 1912. Ц. 40 к.

Авторы сдѣлали все возможное, чтобы разъяснить не спеціалисту сущность принципа относительности и новой механики. *Природа*.

ЛАКУРЪ П. и АППЕЛЬ Я. **Историческая физика.*** Пер. съ нѣм. подъ ред. „*Вѣстн. Оп. Физики и Эл. Мат.*". Въ 2-хъ томахъ больш. формата 892 стр. Съ 799 рис. и 6 отд. цвѣтн. табл. 1908. Ц. 7 р. 50 к.

Нельзя не привѣтствовать этого интереснаго изданія... Книга читается легко; содержитъ весьма удачно подобранный матеріалъ и обильно снабжена хорошо выполненными рисунками. Переводъ никакихъ замѣчаній не вызываетъ. *Ж. М. Н. Пр.*

ЛИНДЕМАНЪ, Ф. проф. **Спектръ и форма атомовъ.** Рѣчь ректора Мюнхенскаго университета 23 стр. 16⁰. *2-е изд.* Ц. 15 к.

ЛОДЖЪ О., проф. **Міровой эѳиръ.** Пер. съ англ. подъ ред. прив.-доц. *Д. Д. Хмырова*. IV+216 стр. 16⁰. Съ 12 рис. 1911. Ц. 80 к.

Въ этой, чрезвычайно интересной книжкѣ, проводится мысль, что „міровой эѳиръ есть непрерывное, несжимаемое, недвижимое основное вещество или совершенная жидкость...". *Природа*.

ЛОРЕНЦЪ, Г. проф. **Курсъ физики.*** Пер. съ нѣм. подъ ред. проф. *Н. П. Кастерина*. Съ добавленіями автора къ русскому изданію.
Т. I. VIII+356 стр. бол. 8⁰. Съ 236 рис. *2-е изд.* 1912. Ц. 2 р. 75 к.
Т. II. VIII+466 стр. больш. 8⁰. Съ 257 рис. 1910. Ц. 3 р. 75 к.

Съ появленіемъ этого перевода русская литература обогатилась превосходнымъ курсомъ физики. *Ж. М. Н. Пр.*

МАЙКЕЛЬСОНЪ, А. проф. **Свѣтовыя волны и ихъ примѣненія.** Перевела съ англ. *В. О. Хвольсонъ* подъ ред. заслуж. проф. *О. Д. Хвольсона* съ дополн. статьями и примѣч. редактора. VIII+192 стр. Съ 108 рис. и 3 цвѣтн. табл. 1912. Ц. 1 р. 50 к.

Завлекательна простота и конкретность мысли и живость изложенія. *Журн. Р. Ф.-Х. О-ва.*

МИ, Г. проф. **Курсъ электричества и магнитизма.** Пер. съ нѣм. подъ ред. засл. проф. *О. Д. Хвольсона.* Въ 2-хъ частяхъ. Около 50 печ. листовъ. Со многими рис. Выходитъ въ свѣтъ выпусками. Цѣна по подпискѣ 5 р.

МОРЕНЪ, Ш. **Физическія состоянія вещества.** Пер. съ франц. подъ ред. проф. *Л. В. Писаржевскаго.* VIII+224 стр. 8⁰. Съ 21 рис. 1912. Ц. 1 р. 40 к.

ПЕРРИ, Дж. проф. **Вращающійся волчокъ*.** Публ. лекція. Съ добавл. статьи проф. *Б. Доната*: „Волчекъ и его будущее въ техникѣ". Пер. съ англ. и нѣм. VIII+116 стр. 8⁰. Съ 73 рис. *3-е изданіе.* 1912. Ц. 60 к.

Книжка, воочію показывающая, какъ люди истиннаго знанія, не цеховой только науки, умѣютъ распоряжаться научнымъ матеріаломъ при его популяризаціи. *Русская Школа.*

ПЛАНКЪ, М. проф. **Отношеніе новѣйшей физики къ механистическому міровоззрѣнію.** Пер. съ нѣм. *І Левинтова,* подъ ред *„Вѣст. Оп. Ф. и Эл. М."* 42 стр. 16⁰. 1911. Ц. 25 к.

... Планкъ разъясняетъ теорію относительности, указываетъ, что ея методы удобны и универсальны... *Естествознаніе и Географія*

ПОЙНТИНГЪ, Дж. проф. **Давленіе свѣта.** Пер. съ англ. подъ ред. *„Вѣстн. Оп. Физ. и Эл. Мат".* 128+II стр. 16⁰. Съ 42 рис. 1912. Ц. 50 к.

Наглядность изложенія теоретической стороны вопроса, иллюстрація его чертежами, аналогіями и сравненіями изъ повседневной жизни не оставляетъ желать большаго. *Природа.*

РАМЗАЙ, В. проф. **Благородные и радіоактивные газы.** Пер. подъ ред. *„Вѣстн. О. Ф. и Э. М."*. 37 стр. 16⁰. Съ 16 рис. 1909. Ц. 25 к.

РИГИ, А. проф. **Современная теорія физическихъ явленій*.** (Іоны, электроны, радіоактивность). Пер. съ 3-го итальян. изданія. VIII+146 стр. 8⁰. Съ 21 рис. 1910. *2-е изд.* Ц. 90 к.

Книгу Риги можно смѣло рекомендовать образованному человѣку, какъ лучшее имѣющееся у насъ изложеніе новѣйшихъ взглядовъ на обширную область физическихъ явленій. *Педагогическій Сборникъ.*

РИГИ, А. проф. **Электрическая природа матеріи.*** Вступительная лекція. Пер. съ итальян. подъ ред. *„Вѣст. Оп. Ф. и Эл. Мат."*. 28 стр. 8⁰. *2-е изд.* 1911. Ц. 30 к.

Эта прекрасная рѣчь обладаетъ всѣми преимуществами многочисленныхъ популярныхъ сочиненій знаменитаго профессора Болоньскаго университета. *Ж. М. Н. Пр.*

СЛАБИ, А. проф. **Безпроволочный телефонъ.** Пер. съ нѣм. подъ ред. *„Вѣст. Оп. Физ. и Эл. Мат."*. 28 стр. 8⁰. Съ 23 рис. 1909. Ц. 30 к.

СЛАБИ, А. проф. **Резонансъ и затуханіе электрическихъ волнъ.** Пер. съ нѣм. подъ ред. *„Вѣст. Оп. Физ. и Эл. Мат."*. 41 стр. 8⁰. Съ 36 рис. Ц. 40 к.

Обѣ брошюры принадлежатъ перу большого знатока предмета и выдающагося самостоятельнаго работника въ области практическаго примѣненія электрическихъ волнъ. *Педагогическій Сборникъ.*

СОДДИ, Ф. проф. **Радій и его разгадка.*** Пер. съ англ. подъ ред. прив.-доц. *Д. Хмырова.* XVI+185 стр. 8⁰. Съ 31 рис. 1910. Ц. 1 р. 25 к.

... авторъ въ увлекательномъ изложеніи вводитъ читателя въ необыкновенно заманчивую область... *Педагогическій Сборникъ.*

ТОМСОНЪ Дж. Дж. проф. **Корпускулярная теорія вещества.** Пер. съ англ. *І. Левинтова,* подъ ред. *„Вѣст. О. Ф. и Э. М."*. VIII+162 стр. 8⁰. Съ 29 рис. 1910. Ц. 1 р. 20 к.

Вся книга, а въ особенности части, содержащія личныя изслѣдованія втора, читаются съ неослабѣвающимъ интересомъ. *Физическое Обозрѣніе.*

ТОМПСОНЪ, СИЛЬВАНУСЪ, проф. **Добываніе свѣта** *. Общедоступная лекція для рабочихъ, прочитанная на собраніи Британской Ассоціаціи 1906. Пер. съ англ. VIII+88 стр. 16⁰. Съ 28 рис. 1909. Ц. 50 к.

Въ этой весьма интересно составленной рѣчи собранъ богатый матеріалъ по вопросу добыванія свѣта. *Ж. М. Н. Пр.*

ФУРНЬЕ ДАЛЬБЪ. Два новыхъ міра. 1 Инфра міръ. 2. Супра-міръ. Пер. съ англ. VIII+119 стр. 8⁰. Съ 1 рис. и 1 табл. 1911. Ц. 80 к.

... содержаніемъ своимъ она способна увлечь мыслящаго человѣка. *Прав. Вѣстн.*

УСПѢХИ ФИЗИКИ. Сборникъ статей подъ ред. *„Вѣстника Опытной Физики и Элементарной Математики"*.

Выпускъ I. * VIII+148 стр. 8⁰. Съ 41 рис. и 2 табл. *3-е изд.* 1909. Ц. 75 к.

Изящно изданный и недорогой сборникъ прочтется каждымъ интересующимся съ большимъ интересомъ. *Вѣстникъ Знанія.*

Выпускъ II. IV+204 стр. съ 50 рис. 1911. Ц. 1 р. 20 к.

Второй выпускъ сборника обладаетъ тѣми же положительными сторонами, что и первый: т. е. содержательностью, ясностью изложенія и полной научностью статей. *Природа.*

ХИМІЯ.

ГРОТЪ, П. проф. **Введеніе въ химическую кристаллографію.** Пер. съ нѣм. І. Левинтова подъ ред. проф. *М. Д. Сидоренко.* VIII+104 стр. 8⁰. Съ 6 черт. 1912. Ц. 80 к.

МАМЛОКЪ, Л. д-ръ. **Стереохимія.** (Ученіе о пространственномъ расположеніи атомовъ въ молекулѣ). Пер. съ нѣмецк. подъ ред. проф. *П. Г. Меликова.* VIII+164 стр. 8⁰. Съ 58 рис. 1911. Ц. 1 р. 20 к.

Въ книгѣ описывается стереохимія углерода, азота, сѣры, селена, олова и неорганическихъ соединеній. *Естествознаніе и Географія.*

ПЁШЛЬ, В. проф. **Введеніе въ коллоидную химію.** Очеркъ коллоидной химіи для учителей, врачей и студентовъ. Пер. съ нѣмецкаго *А. С. Комаровскаго.* Съ пред. проф. *П. Г. Меликова.* VIII+86 стр. 8⁰ 1912. Ц. 75 к.

РАМЗАЙ, В. проф. **Введеніе въ изученіе физической химіи.** Пер. съ англ. подъ ред. проф. *П. Г. Меликова.* VIII+76 стр. 16⁰. 1910. Ц. 40 к.

Главный интересъ обзора конечно въ томъ, что онъ сдѣланъ крупнымъ самостоятельнымъ изслѣдователемъ въ этой области. *Педагогическій Сборникъ.*

СМИТЪ, А. проф. **Введеніе въ неорганическую химію.** Пер. съ англ. подъ ред. проф. *П. Г. Меликова.* XVI+840 стр. 8⁰. Съ 107 рис. 1911. Ц. 3 р. 50 к.

Такіе первокласные ученые, какъ Лёбъ, Оствальдъ и др. признали, что „Введеніе въ неорганическую химію" Смита обогащаетъ учебную литературу и въ ряду многочисленныхъ руководствъ по химіи должно занять особое значительное мѣсто. *Рѣчь.*

Успѣхи химіи. Сборникъ статей о важнѣйшихъ изслѣдованіяхъ послѣдняго времени въ общедоступномъ изложеніи подъ ред. *„Вѣстн. Оп. Физ. и Элем Мат."*. Вып. I. VIII+240 стр. 8⁰. Съ 83 рис. 1912 г. Ц. 1 р. 50 к.

ЦЕНТНЕРШВЕРЪ, М. Г. **Очерки по исторіи химіи.** Популярно-научныя лекціи. XVI+318 стр. 8⁰. Съ 83 рис. 1912 г. Ц. 2 р. 20 к.

ШТОКЪ, А. проф. и **ШТЕЛЕРЪ**, прив.-доц. **Практическое руководство по количественному анализу.** Пер. съ нѣм. лабор. Новор. Унив. *А. І. Коншина* подъ ред. проф. *П. Г. Меликова.* Пер. съ нѣм. VIII+172 стр. 8⁰. Съ 37 рис. 1911. Ц. 1 р. 20 к.

Руководство написано ясно и понятно и можетъ быть очень полезно при самостоятельномъ прохожденіи анализа. *Естествознаніе и Географія.*

АСТРОНОМІЯ

АРРЕНІУСЪ, Св. проф. **Образованіе міровъ** *. Пер. съ нѣм. подъ ред. проф. *К. Д. Покровскаго.* VIII+200 стр. 8⁰. Съ 60 рис. *2-е изд.* 1912. Ц. 1 р. 75 к.

Книга чрезвычайно интересна и богата содержаніемъ. *Педагогическій Сборникъ*

БОЛЛЪ, Р. С. проф. **Вѣка и приливы.** Пер. съ англ. подъ ред. прив.-доц. *А. Р. Орбинскаго.* IV+104 стр. 8⁰. Съ 4 рис. и 1 табл. Ц. 75 к.

... настоящее изданіе „Mathesis" слѣдуетъ привѣтствовать наравнѣ съ прочими, какъ почтенный, заслуживающій распространенія и серьезнаго вниманія, вкладъ въ русскую науку. *Русская Школа.*

ВИХЕРТЪ, Э. проф. **Введеніе въ геодезію** * Пер. съ нѣм. IV+95 стр. 16⁰. Съ 41 рис. *2-е изд.* 1912. Ц. 35 к.

Излагаетъ основы низшей геодезіи, имѣя въ виду пользованіе ею въ школѣ въ качествѣ практическаго пособія... Изложеніе очень сжато, но полно и послѣдовательно. *Вопросы Физики.*

ГРАФФЪ, К. **Комета Галлея** *. Пер. съ нѣм. X+71 стр. 16⁰. Съ 13 рис. и 2 отд. табл. Изд. второе испр. и доп. 1910. Ц. 30 к.

Брошюра Граффа хорошо выполняетъ свое назначеніе. *Педагогическій Сборникъ.*

Галлеева комета въ 1910 году. *Общедоступное изданіе.* Содержаніе: О вселенной—О кометахъ—О кометѣ Галлея. 32 стр. 8⁰. Съ 12 иллюстраціями. 1910. Ц. 12 к.

КЛАРКЪ, А. **Исторія астрономіи XIX столѣтія.** Пер. съ англ. прив.-доц. СПБ. университета *В. В. Серафимова.* VIII+648 стр. 8⁰. Съ рис. 1913. Ц. 4 р.

ЛОВЕЛЛЪ, П. проф. **Марсъ и жизнь на немъ.** Пер. съ англ. подъ ред. и съ предисл. прив.-доц. *А. Р. Орбинскаго.* XXI+272 стр. 8⁰. Со многими рис. и 1 цвѣтн. табл. 1912. Ц. 2 р.

Книгу эту можно рекомендовать всякому, кто хочетъ знать состояніе науки о Марсѣ въ настоящее время; читается она легко и вполнѣ доступна для средняго, знакомаго съ астрономіей, читателя. *Извѣстія Р. О-ва Любителей Міровѣдѣнія.*

НЬЮКОМЪ, С. проф. **Астрономія для всѣхъ** *. Пер. съ англ. подъ ред. и съ предисл. прив.-доц. *А. Р. Орбинскаго.* XX+288 стр. 8⁰. Съ порт. автора, 64 рис. и 1 табл. *2-е изд.* 1911. Ц. 1 р. 50 к.

Вполнѣ научно, и совершенно доступно, и изящно написанная книга... переведена и издана очень хорошо. *Вѣстникъ Воспитанія.*

БІОЛОГІЯ.

ВЕРИГО, Б. проф. Единство жизненныхъ явленій. (*Основы общей біологіи I.*). VIII+276 стр. 8⁰. Съ 81 рис. 1912. Ц. 2 р.

... книгу нельзя не признать очень интересной и заслуживающей полнаго вниманія. Она написана просто и потому доступна большому кругу читателей. *Русская Школа.*

ВЕРИГО, Б. проф. **Біологія клѣтки, какъ основа ученій о зародышевомъ развитіи и размноженіи.** (*Основы общ. біологіи II*) IV+336 стр. 8⁰. Съ 60 рис. 1913. Ц. 2 р. 50 к.

ЛЁБЪ, Ж. проф. **Динамика живого вещества.** Пер. съ нѣм. подъ ред. проф. *В. В. Завьялова.* VIII+352 стр. 8⁰. Съ 64 рис. 1910. Ц. 2 р. 50 к.

Классическая книга Лёба, отъ чтенія которой трудно оторваться, устанавливаетъ вѣхи достигнутаго въ познаніи динамики живого вещества. *Русское Богатство.*

ЛЁБЪ, Ж. проф. **Жизнь.** Пер. съ нѣм. 30 стр. 8⁰. 1912. Ц. 30 к.

Докладъ этотъ прекрасно резюмируетъ взгляды Лёба и его школы па сущность жизненыхъ явленій и потому является въ высшей степени интереснымъ. *Русская Школа.*

УШИНСКІЙ, Н. проф. **Лекціи по бактеріологіи** VIII+135 стр. 8⁰. Съ 34 черн. и цвѣтн. рис. на отдѣльн. табл. 1908. Ц. 1 р. 50 к.

Успѣхи біологіи. Сборникъ статей о важнѣйшихъ изслѣдованіяхъ послѣдняго времени. Вып. I. Подъ ред. проф. *В. В. Завьялова.* IV+244 стр. 8⁰. Съ 24 рис. Ц. 1 р. 50 к.

VARIA.

ГАМПСОНЪ-ШЕФЕРЪ. **Парадоксы природы.** *. Книга для юношества объясняющая явленія, которыя находятся въ противорѣчіи съ повседневнымъ опытомъ. Пер. съ нѣм. VIII+193 стр. 8⁰. Съ 67 рис. Ц. 1 р. 20 к.

Матеріалъ подобранъ интересный. *Жур. Мин. Н. Пр.*

ГАССЕРТЪ, К. проф. **Изслѣдованіе полярныхъ странъ.*** Исторія путешествій къ сѣверному и южному полюсамъ съ древнѣйшихъ временъ до на-

стоящаго времени. Пер. съ нѣм. подъ ред. и съ дополн. проф. *Г. И. Танфильева.* XII+216 стр. 8⁰. Съ двумя цвѣтн. картами. 1912. Ц. 1 р. 50 к.

... видно, какъ широко охваченъ въ книгѣ предметъ и какъ много даетъ она для интересующихся полярными изслѣдованіями. *Естествознаніе и Географія.*

ДАННЕМАННЪ, Ф. **Исторія естествознанія.** Пер. съ нѣм. подъ ред. засл. проф. СПБ. унив. *И. И. Боргмана.* IV+486 стр. 8⁰. Съ 87 рис. и портр. Галилея. 1913. Ц. 3 р.

НИМФЮРЪ, Р. **Воздухоплаваніе.** * Научныя основы и техническое развитіе. Пер. съ нѣм. VIII+161 стр. 8⁰. Съ 52 рис. 1910. Ц. 90 к.

Въ книгѣ собранъ весьма обширный описательный матеріалъ. *Ж. М. Н. Пр.*

СНАЙДЕРЪ, К. проф. **Картина міра въ свѣтѣ современнаго естествознанія.** Пер. съ нѣм. подъ ред. проф. *В. В. Завьялова.* VIII+193 стр. 8⁰. Съ 16 отд. порт. 1909. Ц. 1 р. 50 к.

Книга касается интереснѣйшихъ вопросовъ о природѣ. *Педагогическій Сборникъ.*

ТРЁЛЬС-ЛУНДЪ, проф. **Небо и міровоззрѣніе въ круговоротѣ временъ.** Пер. съ нѣм. IV+233 стр. 8⁰. 1912. Ц. 1 р. 50 к.

... астрологія и астрономія, богословскія и этическія системы и спекуляціи разсмотрѣны (въ сжатомъ, но увлекательномъ изложеніи) на протяженіи трехъ съ половиною тысячелѣтій .. *Русская Мысль.*

ТРОМГОЛЬТЪ, С. **Игры со спичками.** Задачи и развлеченія Пер. съ нѣм 146 стр. 16⁰. Свыше 250 рис. и черт. *2-е изд.* 1912 Ц. 50 к.

ШМИДЪ, Б. проф. **Философская хрестоматія.** Пер. съ нѣм. *Ю. А. Говсѣева,* под. ред. и съ пред. проф. *Н. Н. Ланге.* VIII+172 стр. 8⁰. 1907. Ц. 1 р.

... Для человѣка, занятаго самообразованіемъ и немного знакомаго съ философіей и наукой, она (книга) даетъ разнообразный и интересный матеріалъ. *Вопросы философіи и психологіи.*

ЩУКАРЕВЪ, А. проф. **Проблемы теоріи познанія** въ ихъ приложеніяхъ къ вопросамъ естествознанія и въ разработкѣ его методами. IV+137 стр. 8⁰ Ц. 1 р.

Имѣется на складѣ:

БИЛЬТЦЪ, Г. и В. **Упражненія по неорганической химіи.** Пер. съ нѣм. *А. С. Комаровскаго,* съ предисл. проф. *Л. В. Писаржевскаго.* XVI+272 стр. 8⁰. Съ 24 рис. Ц. 1 р. 60 к.

СЪ ТРЕБОВАНІЯМИ ОБРАЩАТЬСЯ

ВЪ ГЛАВНЫЙ СКЛАДЪ ИЗДАНІЙ „МАТЕЗИСЪ“.

Одесса, Стурдзовскій пер., д. № 3 а.

ПОДРОБНЫЙ КАТАЛОГЪ ИЗДАНІЙ ПО ТРЕБОВАНІЮ.

Выписывающіе изъ главнаго склада „МАТЕЗИСЪ“ на сумму 5 р. и болѣе за пересылку не платятъ.

Отдѣленія главнаго склада изданій „МАТЕЗИСЪ“:

Въ **Москвѣ**—Книжный магазинъ ***„Образованіе“*** (Кузнецкій мостъ, 11);

въ **Кіевѣ**—Книжный магазинъ ***В. А. Просяниченко*** (Фундуклеевская).

Складъ изданій „МАТЕЗИСЪ“ въ **С.-Петербургѣ** — Книжный магазинъ ***Г. [illegible] Цукермана*** (Александровская площадь, 5).

